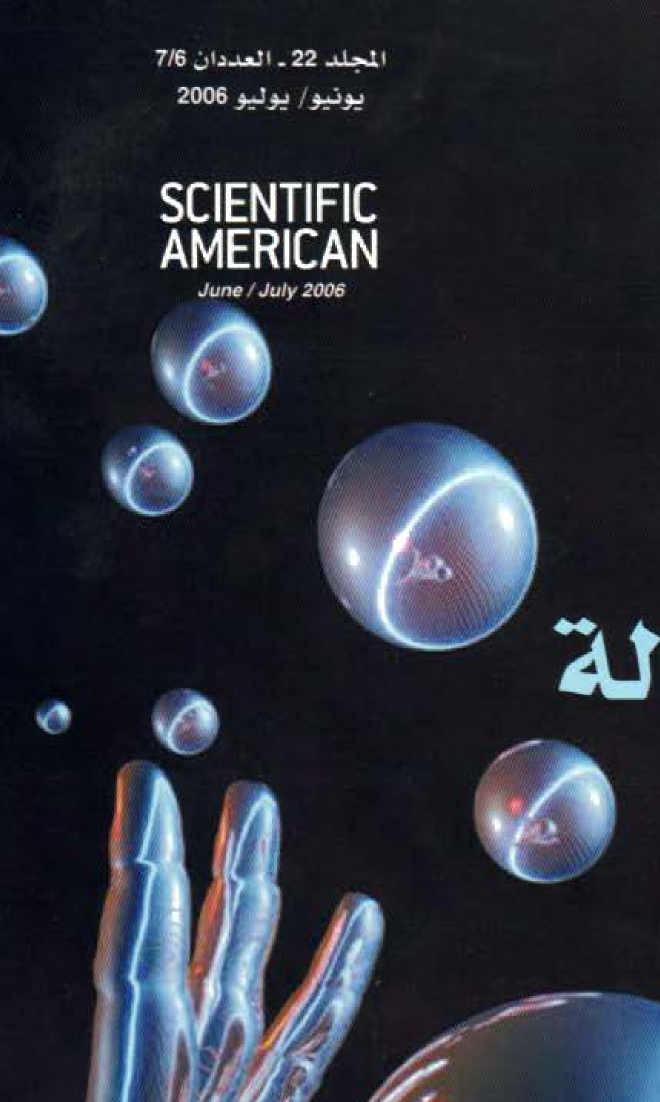
المجلد 22 - العددان 7/6
يونيو/ يوليو 2006

SCIENTIFIC
AMERICAN
June / July 2006



مجلة العلوم

الترجمة العربية لمجلة ساينتفك أمريكان
تصدر شهرياً في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

وهم الثقالة

- كيف تُجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها
- تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل
- الترجمة الآلية مازالت هدفا بعيد المنال
- التغلب على قاتل مفاجئ: أمهات الدم
- أهداف جديدة محددة للأدوية
- أمل جديد لقهر الروتاڤيروس
- العلم وراء لعبة سودوكو
- منابع القدرة المنمنمة
- الراديو الاستعرافي

العددان 219/218 - السعر: 1.500 دينار كويتي

المقالات

ترجمة أو مراجعة

«مجلة العلوم» تصدر شهريا في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«ساينتفيك أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم، وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول.

كيف تُجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها(*)

يشترك البشر والحيوانات الأخرى في تراث من الميول الاقتصادية، يشمل التعاون ورد الجميل إلى أهله ورفض أن تُبخس حقوقها في التبادلات.

‹F. B. M.› دو فال

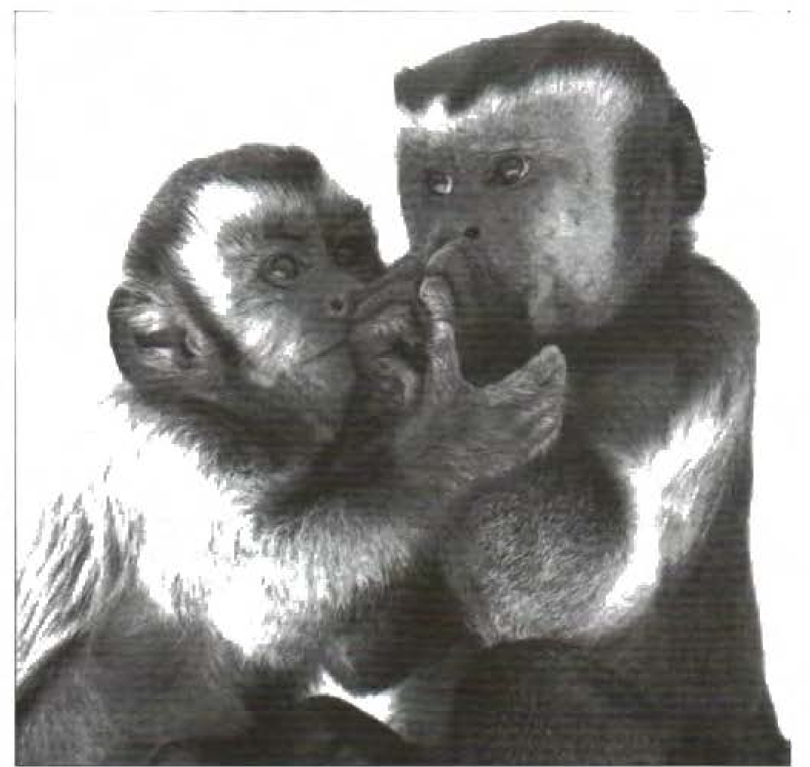
لن يكون مكتبي حاليا لفترة طويلة لو أنني تركته، كذلك الأمر بالنسبة إلى الممتلكات في الطبيعة، فملكيتها تتغير باستمرار. وتتراوح المساكن الممكنة من نقر تثقبها **نواقر الخشب** woodpeckers إلى أصداف فارغة على الشاطئ. وخير مثال نمطي لما يطلق عليه الاقتصاديون «**سلسلة الشواغر**» vacancy chain هو **سوق الإيواء** housing market بين حيوانات السرطان الناسك(1). فكل سرطان يحمل بيته أينما ذهب لحماية بطنه الرخو.

وعادة ما يكون هذا صدفة مهجورة لحيوان من البطنقدميات (الحلازن). والمشكلة هي أن السرطان ينمو، في حين لا ينمو بيته. ومن ثم تكون هذه السرطانات في بحث دائم عن بيوت جديدة. وفي اللحظة التي تنتقل فيها إلى صدفة أوسع، تكون سرطانات أخرى بانتظار دورها لشغل الصدفة الخالية.

ونستطيع هنا أن نرى بسهولة تطبيق قانون العرض والطلب. ولما كان هذا القانون يطبق هنا على مستوى غير شخصي إلى حد ما، فإن قليلين هم الذين ينظرون إلى نموذج السرطان كنموذج ذي علاقة بالمعاملات الاقتصادية البشرية. وستكون تأثرات السرطان أكثر إثارة لو أن الحيوانات عقدت صفقاتها بأسلوب «يُمكنك امتلاك منزلي لو أعطيتني في المقابل تلك السمكة الميتة»، والسرطانات الناسكة ليست من عاقدي الصفقات. وفي الحقيقة ليس لديها شعور بتأنيب الضمير عند طردها مالكي مسكن بالقوة. بيد أن حيوانات أخرى أكثر اجتماعية تتفاوض فيما بينها. ومقاربة هذه الحيوانات في تبادل الموارد والخدمات تساعدنا على فهم كيف نشأ السلوك الاقتصادي البشري، ولماذا؟

اقتصاديات جديدة(**)

ينظر علم الاقتصاد المعهود إلى الناس على أنهم حريصون على تحقيق أقصى قدر من المنفعة لأنفسهم، تدفعهم إلى هذا أنانية مطلقة وقد صاغها في القرن السابع عشر الفيلسوف الإنكليزي ‹T. هوبس› هكذا: «يُفترض أن كل فرد يبحث لنفسه فطريا ومن دون قصد عما هو نافع له؛ أما بحثه عما هو عادل فلا يأتي إلا ابتغاء السلامة وعرَضا.» وفي حدود هذا الرأي الذي مازال سائدا، لا يكون هذا السلوك إلا فكرة تالية أو «عقدا اجتماعيا» طرقه أسلافنا بسبب منافعه وليس بسبب انجذاب بعضهم لبعض. وبالنسبة إلى البيولوجي، يحيد هذا التاريخ الخيالي، إلى أبعد حد، عن الحقيقة. لقد انحدرنا من سلسلة طويلة من الرئيسات(2) التي تعيش في جماعات؛ وهذا يعني أننا زُودنا فطريا برغبة قوية لأن ننتظم في جماعة، وأن نجد شركاء نعيش ونعمل معهم. وهذا التفسير



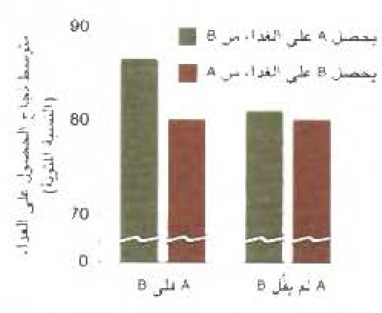
تتقاسم قردة الكابوشين طعامها، كما تفعل الشمبانزات والأناسي. ولما كان هذا السلوك نادرا بين الرئيسات الأخرى، فيبدو أنه تطور مع ممارسة الصيد التعاوني (الجماعي)، وهي استراتيجية تستخدمها الأنواع الثلاثة. فبغير اقتسام غنيمة الصيد لن يكون هناك صيد جماعي. وهنا نرى صغيرا من الكابوشين يستجدي أمه الطعام بتدوير راحة يده، كالقدح، أمام الطعام الذي تأكله.

(*) HOW ANIMALS DO BUSINESS

(**) The New Economics

(1) harmit crabs

(2) primates



تتقاسم الشمبانزات الغذاء ـ هذه الأغصان المورقة، مثلا ـ كرد لخدمات من قبيل التفلية. وقد تم توضيح هذه التبادلية تجريبيا بتسجيل التفلية في صباح الأيام التي كان من المخطط إجراء اختبارات تقاسم الغذاء فيها. وكما يوضح الرسم البياني، قد زادت نسبة نجاح الشمبانزي (A) في الحصول على غذاء من الشمبانزي (B) بعد تفلية (A) له. لكن نجاح الشمبانزي (B) في الحصول على غذاء الشمبانزي (A) لم يتأثر بتفلية الشمبانزي (A). وبذلك، وعلى وجه التخصيص، فإن الفرد الذي يُفلي هو الذي يستفيد. وهذا يعني أن القاعدة هي مقايضة الغذاء بالتفلية.

التطوري لسبب تأثرنا على الوجه الذي نفعله. يكتسب حاليا نفوذا بفضل ظهور علم جديد، يعرف **بعلم الاقتصاد السلوكي** behavioral economics والذي يركز على السلوك البشري الفعلي أكثر منه على قوى السوق المجردة كدليل على فهم كيفية صنع القرار الاقتصادي. وقد حظي هذا العلم بتقدير خاص في عام 2002 وذلك باقتسام اثنين من مؤسسيه، وهما «D. كاينمان» و«V. سميث»، جائزة نوبل.

إن علم اقتصاد السلوك الحيواني مجال بكر يقدم دعما للنظريات الجديدة بإيضاح أن الميول الاقتصادية الأساسية والاهتمامات البشرية ـ مثل التبادلية واقتسام المكافآت والتعاون ـ لا تقتصر على البشر. فمن المحتمل أنها نشأت في حيوانات أخرى للأسباب نفسها التي نشأت فينا، وذلك لمساعدة الأفراد على الحصول على أفضل المنافع بعضهم من بعض من دون تقويض للاهتمامات المشتركة التي تدعم حياة المجموعة.

ولنتخذ حدثا جديدا تم خلال إجراء أبحاثي في مركز يركس القومي لأبحاث الرئيسات بأتلانتا. لقد دربنا قرود كابوشين على أن تصل إلى آنية طعام بسحب قضيب متصل بحامل آنية الطعام. وجعلنا الحامل أثقل وزنا مما يقدر عليه فرد واحد، حتى نوجد سببا يدفع القرود إلى التعاون.

في إحدى المرات، تم السحب بوساطة القردتين «بيا» و«سيا»، ولوجودهما في قفصين متلاصقين، نجحتا في جعل الحامل وعليه آنيتا الطعام في متناولهما. ولكن القردة «سيا» كانت متعجلة في حصد جائزتها إذ حررت القضيب وانتزعت آنية طعامها قبل أن تحصل القردة «بيا» على طعامها، وارتد الحامل للوراء بعيدا عن متناول القردة «بيا». وفيما كانت القردة «سيا» تمضغ طعامها بصوت عال، انتابت القردة «بيا» نوبة غضب، وأطلقت صيحة بملء أنفاسها لنصف دقيقة إلى أن اقتربت القردة «سيا» من قضيب السحب مرة ثانية ثم ساعدت القردة «بيا» على أن تُقرِّب الحامل مرة ثانية. ولم تفعل القردة «سيا» ذلك لمصلحتها الخاصة، لأن آنية الطعام المتاحة لها كانت خالية.

ويبدو أن السلوك التصحيحي للقردة «سيا» كان استجابة لاحتجاج القردة «بيا» بسبب فقدانها مكافأة متوقعة. ويأتي مثل هذا الفعل أكثر قربا للصفقات الاقتصادية البشرية منه لحيوانات السرطان الناسك؛ لأنه يوضح تعاونا واتصالا وتحقيقا لمطلب متوقع، بل ربما إحساسا بالالتزام. ويبدو أن القردة «سيا» كان عندها إحساس بموقف المبادلة أو المقايضة، أو أخذ شيء ما مقابل إعطاء شيء آخر quid pro quo. وهذا الإحساس ليس مفاجأة، إذا علمنا أن حياة الجماعة لقرود كابوشين تدور حول هذا المزيج نفسه من التعاون والتنافس الذي يميز مجتمعاتنا البشرية.

تطور التبادلية(**)

يحدث أحيانا، في الحيوانات والبشر، أن يساعد الفرد الآخر من دون أي فوائد واضحة تعود على الفرد المُعين. كيف نشأ مثل هذا السلوك؟ تكون إجابة هذا السؤال سهلة نسبيا لو أن المساعدة قد قُدمت لفرد من العائلة. ويتعرف البيولوجيون الميزات الوراثية لتلك المساعدة. إذا عاش قريبك، ازدادت أرجحية أن تجد جيناتك طريقها إلى الجيل التالي. لكن التعاون بين أفراد من غير ذوي القرابة يوحي

نظرة إجمالية/ اقتصادات تطورية(*)

- **ينظر مجال علم الاقتصاد السلوكي الجديد إلى الوسيلة التي يُجري بها البشر تعاملاتهم على أنها تراث متطور لنوعنا.**
- **تماما كما يؤثر مبدأ المقايضة «واحدة بواحدة»، ومبدأ العرض والطلب في تجارة السلع والخدمات في اقتصادات البشر، هما يؤثران أيضا في أنشطة التعامل بين الحيوانات.**
- **تشكل الاستجابات العاطفية ـ مثل الثورة ضد التدابير غير العادلة ـ أساس المفاوضات عند الحيوانات والبشر كليهما.**
- **قد يفسر علم النفس التقاسمي السلوكيات الغريبة من قبيل الإيثارية، على أنها جزء من خلفيتنا السابقة كرئيسات متعاونة.**

(*) Overview: Evolved Economics
(**) The Evolution of Reciprocity

ما الذي يُحرك التبادلية[*]

يتبادل البشر والحيوانات الأخرى المنافع بعدة وسائل تعرف تقنيا باليات التبادلية. ومهما كانت الآلية، فإن الخيط العام فيها هو أن المنافع تجد طريقها عائدة إلى الواهب الأصلي.

الية التبادلية		الملامح الأساسية
اعتمادية التماثل «فكرة التوافق»		تحرك المودة المتبادلة بين طرفين سلوكا متشابها في كلا الاتجاهين من دون الحاجة إلى تتبع مسار عمليات العطاء والأخذ اليومية، مادامت العلاقات تظل مُرْضية في جملتها. وربما كانت هذه هي أكثر اليات التبادلية شيوعا في الطبيعة. وهذا هو الطراز النمطي في البشر والشمبانزات ذات العلاقات الوثيقة. **مثال:** تتزامل الشمبانزات الأصدقاء، ويفلي بعضها بعضا ويدعمه في المعارك.
الاتجاه السلوكي «إذا كنت لطيفا معي سوف أكون لطيفا معك»		يعكس كل من الطرفين الاتجاه السلوكي للطرف الآخر، فيتبادلان المجاملة لحظيا ويحدث تبادل المجاملة لحظيا بين القرود، وغالبا ما يعتمد عليها البشر مع الغرباء. **مثال:** تتقاسم قرود كابوشين الغذاء مع القرود التي تساعدها على جذب حامل أواني الطعام.
محسوبة «ماذا قدمت لي مؤخرا؟»		يتتبع الأفراد مسار المنافع التي يتبادلونها مع رفقاء معينين بذاتهم، وهذا يساعدهم على تقرير لمن يردون الجميل. وهذه الآلية نمطية في الشمبانزات وشائعة بين البشر في العلاقات غير الوثيقة الصلة والعلاقات المهنية. **مثال:** تستطيع الشمبانزات توقع الحصول على غذاء بعد الظهيرة من الشمبانزات التي فلّتها في الصباح.

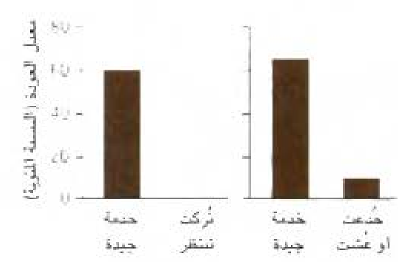
بأنه لا توجد ميزات وراثية عاجلة. ولقد قدم الأمير الروسي <P.> كروبوتكن> تفسيرا مبكرا لذلك في كتابه «المساعدة المتبادلة» الذي نشر عام 1902. وكانت حجته في ذلك هي أنه إذا كانت المساعدات جماعية كان أمام جميع الأطراف فرصة للكسب - وتزداد فرص كل فرد للبقيا. ولكن كان علينا أن ننتظر حتى عام 1971 ليصوغ <L. R.> تريفرز> [الذي كان حينها في جامعة هارفرد] القضية بمصطلحات تطورية حديثة مع نظريته عن **الإيثارية** التبادلية altruism.

وكان <تريفرز> يقول بأن تقديم تضحية للآخر يكون مجزيا لو أن الآخر رد المعروف. ويمكن اختصار التبادلية في: «سأحك ظهرك بأظافري إذا فعلت أنت ذلك بظهري.» هل تُظهر الحيوانات مثل هذه المقايضة «واحدة بواحدة» tit for tat؟ تكوّن القرود والقردة العليا تحالفات فيما بينها، حيث يتحالف قردان أو أكثر على ثالث. ولقد وجد الباحثون علاقة إيجابية بين كم مرة يدعم القرد (A) القرد (B) وكم مرة يدعم القرد (B) القرد (A). لكن هل يعني هذا أن الحيوانات تستطيع حقيقةً تتبع الخدمات المقدمة منها أو التي تتلقاها؟ إن الأمر قد لا يعدو أنهم يقومون بتصنيف العالم إلى «الرفقاء» buddies هم الذين يفضلونهم و«لارفقاء» لا يعيرونهم إلا قليل الاهتمام. فإذا كانت هذه الأحاسيس متبادلة، فإن العلاقات ستكون إما نافعة تبادليا وإما غير نافعة تبادليا. ويمكن لمثل هذه المتماثلات أن تفسر التبادلية التي وصفت في الأسماك والخفافيش مصاصة الدماء (التي تتقيأ الدم لرفقائها) والدلافين وكثير من القرود.

ومجرد كون هذه الحيوانات قد لا تستطيع تتبع مسار الخدمات المقدمة لا يعني أنه ينقصها التبادلية. والقضية على الأرجح هي كيف أن الخدمة المقدمة للآخر تعود **للمؤثر غيره** altruist الأصلي. ما هي بالضبط آلية التبادلية؟ حفظ السجل العقلي هو مجرد إحدى الطرق لجعل التبادلية تعمل، وما إذا كانت الحيوانات تفعل هذا يبقى قيد الاختبار. وحتى الآن الشمبانزات هي الاستثناء الوحيد، حيث هي في البرية تصطاد في مجموعات لاقتناص قردة كولوبوس. تقتنص إحداها عادة الفريسة، ثم تمزقها وتتقاسمها. ومع ذلك، لا يحصل كل شمبانزي على قطعة، بل حتى أعلى الذكور منزلة قد يستجدي الطعام من دون جدوى إذا لم يشارك في الصيد. ويوحي هذا ذاته بالتبادلية؛ إذ يبدو أن القناصة تستمتع بأولويتها خلال توزيع الغنائم.

وفي محاولة لمعرفة الآليات الفعالة هنا، استثمرنا ميل هذه القرود لأن يشارك بعضها بعضا - وهذا ما تظهره أيضا وهي في الأسر - بتسليم أحد الشمبانزات في مستعمرتنا بطيخة أو بعض الفروع المورقة. والحائز لهذه المنحة يكون في مركز الزمرة المتشاركة. وسرعان ما تتبعها زمر أخرى تحوم حول الأفراد التي نجحت في الحصول على نصيب كبير، ويتوزع الغذاء جميعه على كل فرد. ولم يُسمع من قبل أنه قد حدث بين الشمبانزات محاولة الاستيلاء على غذاء فرد آخر بالقوة، وهي ظاهرة تعرف باسم «احترام الملكية». يمد المتسول منها يده وراحتها متجهة إلى أعلى، بشكل مماثل إلى حد كبير لما يفعله شحاذو البشر في الطرقات. إنها تتذمر وتعوي، لكن المواجهات العدوانية نادرة. ولو حدثت هذه المواجهات،

(*) What Makes Reciprocity Tick



تقضم السمكة المنظِّفة الطفيليات في الفم المفتوح لسمكة كبيرة زبونة. ونادرا ما تعود السمكة الجوالة إلى محطة السمكة المنظفة إذا تُركت تنتظر طويلا (*الرسم البياني الأيسر*) أو خُدعت (*الرسم البياني الأيمن*)، أي إن السمكة المنظفة أخذت قضمة من نسيج جسمها السليم. ولذلك تميل السمكة المنظفة إلى أن تعامل الزبونات الجوالات أفضل من المقيمات، التي لا يوجد أمامها فرص لاختيار محطات نظافة.

فإن المالك يكاد يكون دائما هو البادئ لجعل فرد ما يترك الحلبة. إنها تضرب المزعجين منهم بشدة على الرأس بفرع كبير الحجم أو تنبح في وجوههم بأصوات صارخة حتى يتركوها وشأنها. ومهما تكن مرتبة المالكين فإنهم يتحكمون في مسار الغذاء.

ولقد حلّلنا نحو 7000 حالة من هذه المقارنات بمقارنة مدى تسامح حائزي أشياء معينة مع من يتسولون هذه الأشياء كرد على خدمات سبق أن تلقوها منهم. وقد كان لدينا سجلات تفصيلية عن **التفلية** grooming التي تحدث بين الحيوانات صباح أيام كنا نخطط فيها لإجراء اختبارات غذاء. فمثلا إذا كان الذكر السائد «سوكو» قد فلّى الأنثى «ماي» في الصباح، فإن فرص حصوله بعد الظهيرة على بعض الأغصان منها سوف تزداد كثيرا. وقد ثبت أن هذه العلاقة بين سلوك الماضي والحاضر هي علاقة عامة. ولا تستطيع روابط التماثل أن تفسر هذه النتيجة، لأن النمط يختلف من يوم إلى آخر. ودراستنا هذه كانت أول دراسة في عالم الحيوان توضح عمليا ارتباط ما يُتلقّى وما يُقدم من خدمات، إضافة إلى ذلك، فإن صفقات تقديم الغذاء مقابل التفلية هذه محددة بالشريك، بمعنى أن تسامح القردة «ماي» أفاد القرد «سوكو»، الذي فلّاها، وليس أي قرد آخر.

وتتطلب هذه الآلية التبادلية ذاكرة للأحداث السابقة وكذلك «تلوين» الخبرة السابقة بحيث يؤدي ذلك إلى توليد أسلوب ودّي بين متبادلي الخبرة. وفي نوعنا البشري، تعرف عملية «تلوين» الخبرة هذه باسم «العرفان بالجميل»، ولا يوجد أي سبب لنطلق عليها شيئا آخر في الشمبانزات. ولكننا مازلنا غير متأكدين ما إذا كانت القردة العليا تشعر بالإحساس بالدَّين للآخرين، ولكن ما يثير الاهتمام أن الميل لرد الخدمات ليس هو نفسه في جميع العلاقات. فتكثر الملاطفة بين الأفراد التي تجتمع ويفلّي بعضها بعضا مرات كثيرة، لكن ليس لجلسة واحدة من التفلية أهمية تذكر في الملاطفة. ومن المحتمل أن جميع أنواع المقايضات اليومية تتم بينها من دون تتبع مساراتها، بل عوضا عن ذلك، يبدو أنها تتبع منظومة «الرفقاء» السابق مناقشتها. ولا تبرز التفلية مستحقة بذاتها مكافأة إلا في العلاقات الأكثر بعدا. ولأن القرد «سوكو» والقردة «ماي» لم يكونا صديقين حميمين، كانت تفلية «سوكو» جديرة بالملاحظة.

ويتجلى في سلوك البشر اختلاف مشابه، حيث نكون أكثر نزوعا لتتبّع التعاملات المتبادلة في الأخذ والعطاء مع الغرباء والزملاء عما نفعله مع أصدقائنا وعائلتنا. بل الواقع إن تسجيل هذه التعاملات في العلاقات الوثيقة، كما هي بين الأزواج، يكون علاقة مؤكدة لعدم الثقة.

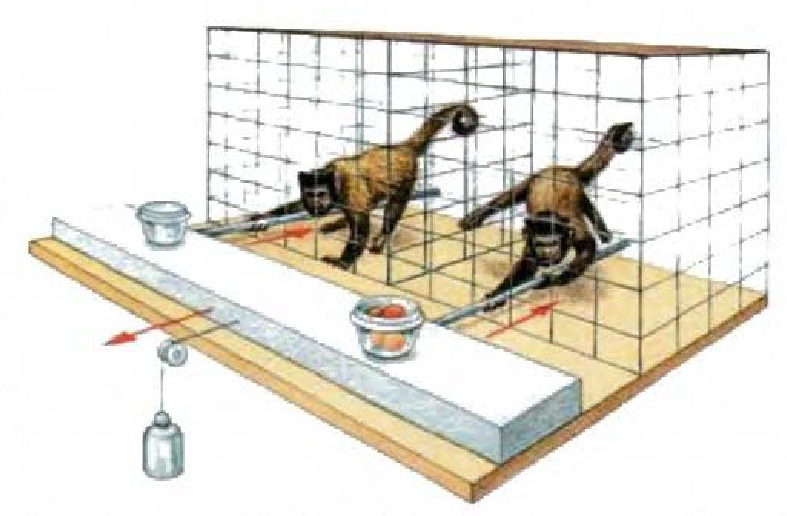
أسواق بيولوجية[*]

وحيث إن التبادلية تتطلب شركاء، فإن اختيار الشريك يعتبر قضية أساسية في علم الاقتصاد السلوكي. إن إسكان البيوت الخالية عند السرطانات الناسكة أمر بسيط

(*) Biological Markets



تدفع إناث البابون الثمن بالتفلية لتختلس النظر إلى صغير حديث الولادة، وكلما قل عدد الصغار، زاد الوقت المطلوب للتفلية، وتزداد قيمة السلعة - صغار البابون في هذه الحالة - كلما شح وجودها.



تُظهر تجربة جذب حامل أواني الطعام أن قرود كابوشين تميل إلى تقاسم الطعام مع الرفقاء المتعاونين أكثر من أولئك غير المتعاونين. تؤوي حجرة الاختبار قردين كابوشيين يفصل أحدهما عن الآخر شبكة. ولكي يصل القردان إلى أواني طعامهما عليهما أن يستخدما قضيبا لجذب حامل الأواني المُعادل، وهذا الحامل أثقل مما يستطيع القرد أن يجذبه بمفرده. ويعمل القرد العامل **laborer** (في اليسار) الذي تبدو آنية طعامه الشفافة فارغة، لصالح «الرابح» الذي يوجد طعام في آنية طعامه. وعموما يتقاسم الرابح الغذاء مع العامل من خلال الشبكة. أما إذا لم يفعل ذلك فإن العامل يفقد الاهتمام بالأمر.

إلى أبعد حد مقارنا بالتأثرات بين الرئيسات، والتي تتضمن العديد من الشركاء التي تتبادل فوائد عديدة مثل التفلية والجنس والدعم في العراك والطعام والعناية بالصغار ونحو ذلك. وهذا «السوق التجاري للخدمات»، كما أطلقت عليه في كتابي «*سياسات الشمبانزات*» *Chimpanzee Politics*، يعني أن كل فرد يحتاج إلى أن يكون على علاقات طيبة بالفئات الأعلى ليعزز مشاركات التفلية، بل ليعقد - إذا كان طموحا - صفقات مع الأفراد الأخرى التي تشاركه هذا التفكير. فذكور الشمبانزات تكوّن تحالفات لتحدي الحاكم المتسلط، وهي عملية محفوفة بالمخاطر. وبعد تنحية الزعيم، يحتاج الحاكم الجديد إلى أن يحافظ على رضا مؤيديه؛ فالذكر السائد الذي يحاول احتكار امتيازات القوة، مثل الاقتراب من الإناث، لا يُحتمل أن يحتفظ بوضعه طويلا. ولقد قامت الشمبانزات بذلك من دون أن تقرأ ما كتبه «N. مكياڤلي»(1).

فإذا كان كل فرد يبحث عن أفضل الشركاء، ويبيع خدماته يصبح إطار التبادلية مسألة عرض وطلب، وهذا هو ما كان تماما في ذهن كل من «R. نو» و«P. هامرشتاين» [اللذين كانا عندئذ في معهد ماكس پلانك لفيزيولوجيا السلوك في سي ڤايزن بألمانيا] في نظريتهما عن السوق البيولوجية. وهذه النظرية، التي تنطبق حيثما كان بإمكان شركاء تجارة اختيار من يتعاملون معهم، تقول بأن قيمة البضائع والشركاء تختلف مع إمكانية الحصول عليها. وقد وضّحت هذه النقطة دراستان لقوى السوق. تتعلق إحداهما بسوق الصغار بين قرود البابون، والأخرى خاصة بأداء العمل عن سمك صغير يسمى **اللابروس المنظف** cleaner wrasses.

فمثل جميع إناث الرئيسات تنجذب إناث البابون للصغار بشدة لا تقاوم - ليس فقط لصغارها بل أيضا لصغار الآخرين؛ بحيث تطلق أصواتا صديقة (قُباعا يشبه صوت الخنزير) وتحاول لمسها. بيد أن الأمهات من ناحية أخرى، تكون متشددة في حماية ولائدها العزيزة، ولا تسمح لأي فرد بأن يمسها. ولذلك يتحتم على الإناث الراغبة في الاقتراب أن تفلي الأم، فيما هي تختلس النظر للرضيع المتعلق بكتف الأم أو يربض أسفل ذراعها. وقد تستسلم الأم، بعد جلسة تفلية واسترخاء، لرغبة الأنثى الفاليّة في نظرة عن قرب. وهكذا تشتري الأنثى الأخرى وقت الطفل. وتتنبأ نظرية السوق بأن قيمة الصغار سوف ترتفع إذا قل عددها في موضع ما. وفي دراسة عن قرود بابون **الشقمة** chacma البرية في جنوب إفريقيا، وجد كل من «L. باريت» [من جامعة ليڤربول] و«P. هنري» [من جامعة سنترال لانكشاير] (وكلتاهما في إنكلترا)، أن الأمهات التي تكون في حشد يندر فيه الصغار لديها بالفعل القدرة على كسب مقابل أكبر (أي وقت تفلية أطول) مقارنة بأمهات في حشد حافل بالصغار.

أما أسماك **اللابروس المنظفة** *Labroides dimidiatus* فهي أسماك بحرية صغيرة تتغذى بالطفيليات الخارجية للأسماك الأكبر حجما. ولكل سمكة منها «محطة» على شعب مرجاني حيث يأتي العملاء، (وهي هنا الأسماك الكبيرة) لتبسط زعانفها الصدرية وتتخذ وضعا يعطي فرصة للسمكة المنظفة لأن تقوم بعملها. وتمثل هذه المقايضة مثالا نموذجيا **للتبادلية** mutualism.

وتقضم السمكة المنظفة الطفيليات مخلصة منها سطح جسم السمكة الكبيرة (العميل) وخياشيمها، بل حتى ما بداخل فمها. وأحيانا قد تكون السمكة المنظفة مشغولة إلى حد أن العميلات (الأسماك الكبيرة) تقف صفا بانتظار دورها. ويوجد صنفان من العميلات: المقيمات والجوالات. وتنتمي المقيمات إلى أنواع لها مناطق إقليمية محدودة، وليس لديها خيار غير أن تذهب إلى منظفتها المحلية. أما الجوّالات، من جهة أخرى، فهي إما أن تكون لها مناطق إقليمية كبيرة وإما أنها ترتحل لمسافات طويلة، مما يعني أن أمامها بضع محطات للتنظيف يمكنها أن تتخير ما تشاء منها. وترغب الجوالات في ألا تطول فترات انتظارها فضلا على تطلّبها خدمة ممتازة وألا تُغش أو يُحتال عليها. ويحدث الاحتيال عندما تأخذ السمكة المنظفة قضمة من عميلتها لتغتذي بغشائها المخاطي السليم، مما يدفع العميلة إلى القفز والسباحة بعيدا.

وتقوم الأبحاث التي أجراها «R. بردوان» [من معهد ماكس پلانك في سيڤايسن] أساسا على ملاحظات تجري في الشعب المرجاني، ولكنها تتضمن أيضا تجارب بارعة في المختبر. وقراءة مقالات «بردوان» العلمية تشبه إلى حد بعيد قراءة كتيب لممارسة جيدة للتجارة. فالأرجح أن تجنح الأسماك الجوالة إلى تغيير محطاتها إذا تجاهلتها السمكة المنظفة طويلا أو خدعتها. ويبدو أن المنظّفات تعرف هذا، فهي تعامل الجوّالات بأسلوب أفضل من معاملتها للأسماك المقيمة. وإذا وصلت سمكة جوالة وأخرى مقيمة إلى المحطة في وقت واحد فالذي يحدث دائما - تقريبا -

(1) رجل الدولة الفلورنسي (المتوفى 1527)، مؤلف الكتاب الشهير *Del Principe*، والذي لا يبالي بالقيم والأخلاقيات في السياسة، ويعمل أي شيء لبلوغ غاياته. (التحرير)



رفض مبادلة الحصى
رفض قبول شرائح الخيار
تبادلات فاشلة (نسبة مئوية)
80
60
40
20
0
اختبار الإنصاف
اختبار اللاإنصاف

لقرود الكابوشين أفضليات محددة عندما تُقدم على الغذاء. إنها تفضل، مثلا، الفاكهة على الخضراوات مثل نبات الكرفس، الذي يتناوله هذا الكابوشين مع كثير من التردد. وعندما دُرِّبت هذه القرود على تبادل حصى مقابل شريحة خيار تقوم بذلك بسعادة مادام الخيار يُقدَّم للقرد الذي في حجرة الاختبار المجاورة (*اختبار الإنصاف في الرسم البياني*). لكن عندما كان يقدم للقرد في القفص المجاور عنب فيما هي باقية على تلقي شرائح الخيار (*اختبار عدم المساواة*)، فإنها كانت تتوقف فجأة أمام هذا الجزاء غير المنصف. فقد كانت إما أن ترفض قبول شرائح الخيار، وفي بعض الأحيان كانت تلقي بها خارج القفص، وإما أن ترفض إعادة الحصاة.

أن تقدم السمكة المنظفة خدماتها للسمكة الجوالة أولا. فالسمكة المقيمة ليس أمامها مكان آخر تذهب إليه، ولذلك يمكن تركها تنتظر. والفئة الوحيدة من الأسماك التي لا تستطيع المنظفات خداعها هي المفترسات التي تملك استراتيجية مضادة حاسمة، وهي أن تبتلع السمكة المنظفة. لذلك تتوخى الأسماك المنظفة الحكمة في تعاملها مع المفترسات. وبنص كلمات «ردوان» «استراتيجية تعاون غير مشروط.»

وتقدم نظرية السوق البيولوجية حلا رائعا لمشكلة **الأنواع المتطفلة** free loaders، والتي شغلت البيولوجيين زمنا طويلا لأن منظومات التبادلية الشديدة الحساسية لا تصلح ـ طبعا ـ بالنسبة إلى الأنواع التي تأخذ أكثر مما تعطي. وغالبا ما يفترض واضعو النظريات أن المعتدين يجب أن يعاقبوا، على الرغم من أن هذا مازال محتاجا إلى دليل بالنسبة إلى عالم الحيوان. وعلى العكس من ذلك يمكن التعامل مع سلوك الغش بطريقة أسهل. فلو كان هناك اختيار للشركاء، فإن الحيوانات يمكنها أن تنبذ ببساطة العلاقات غير المُرضية لها وتستبدل بها علاقات تقدم فوائد أكثر. وآليات السوق هي كل ما هو مطلوب للاستقلاليين. وفي مجتمعاتنا الخاصة نحن، أيضا، لا نحب ولا نثق في أولئك الذين يأخذون أكثر مما يعطون، ونميل إلى أن نبقى بعيدا عنهم.

الإنصاف إنصاف[*]

ولكي يجني فرد ما فوائد التعاون، عليه مراقبة مجهوداته بالنسبة إلى الآخرين وأن يقارن مردودها بالجهد المبذول فيها. ولكي نتحرى هل تقوم الحيوانات فعلا بهذه المراقبة، عُدنا إلى قرودنا الكابوشية، نختبرها في سوق عمل مُصغر مستوحى من ملاحظات حقلية لقرود كابوشين تهاجم سناجيب عملاقة. وصيد السنجاب مجهود مجموعة، لكن المكافأة كلها تنتهي بيد فرد واحد: الأسر (القانص). ولو أن كل أسر احتفظ بالفريسة لنفسه، فلنا أن نتخيل أن الآخرين سيفقدون اهتمامهم بمشاركتهم في المستقبل. تتقاسم قرود كابوشين اللحم للسبب نفسه الذي تقوم به الشمبانزات (والبشر) بذلك: لا يمكن وجود صيد مشترك من دون ناتج ربح مشترك.

لقد حاكينا هذا الموقف في المختبر بأن تأكدنا أن قردا واحدا فقط (والذي أطلقنا عليه الرابح) من القردين جاذبيْ حامل أواني الطعام قد تلقّى آنية بها قطع تفاح. أما شريكه (العامل) فلا يوجد طعام في آنيته. كما كان واضحا من البداية إذ إن آنية الطعام كانت شفافة. وهكذا يكون القرد العامل قد جذب الحامل لفائدة القرد الرابح. ويجلس القردان جنبا إلى جنب، تفصلهما شبكة. وقد عرفنا من اختبارات سابقة أن حائزي الغذاء يمكنهم أن يحملوا الغذاء إلى الحاجز ويسمحوا لجارهم أن يصل إليه من خلال الشبكة، وفي حالات نادرة، كانوا يدفعون قطع طعام إليه.

ولقد أجرينا مقارنة بين الجذب الجماعي والجذب المنفرد. ففي إحدى الحالات كان لكل قرد قضيب جذب وكان حامل الأواني ثقيلا. وفي الحالة الأخرى، كان لا يوجد لدى الشريك قضيب جذب وكان لدى الرابح قضيب سحب متصل بحامل أوانٍ خفيف يمكن جذبه بوساطة فرد واحد. ولقد أحصينا حالات أكثر لتقاسم الطعام بعد السحب الجماعي منه في السحب المنفرد. وفي الواقع كان الرابحون يكافئون شركاءهم على المساعدة التي تلقوها. ولقد أثبتنا أيضا أن المشاركة تؤثر في التعاون المستقبلي. ولأن معدل نجاح زوج القرود كان سيهبط لو أن الرابح كان لا يقاسم شريكه، فإن مكافأة العامل تكون استراتيجية ذكية.

وقد ذهبت «S. F. بروسنان» [إحدى زميلاتي في يركس] إلى مدى أبعد في استكشاف ردود فعل تقسيم المكافآت، حيث كانت تقدم حصاة صغيرة لقرد كابوشين ثم تمسك بشريحة من الخيار كإغراء لاستعادة الحصاة. أدركت القرود بسرعة مبدأ التبادل. ولوحظ أن القردين المتجاورين جنبا إلى جنب يتبادلان الحصى بالخيار مع الباحث بسرور. أما لو أن أحدهما حصل على عنب في حين استمر الآخر على الخيار، فإن الأمور كانت تأخذ منحى غير متوقع. إذ لما كان العنب أكثر تفضيلا، فإن القرود التي كانت راغبة في شرائح الخيار أضربت فجأة عن هذا. فهي لم تكن تؤدي دورها على مضض فحسب (حيث كانت ترى أن القرد الآخر يحصل على صفقة أفضل)، بل إنها كانت تنتابها حالة هياج قاذفةً بالحصى خارج حجرة الاختبار، بل حتى شرائح الخيار في بعض الأحيان. والطعام الذي كان لا يُرفض أبدا في الأحوال العادية، صار أقل من أن يُرغب فيه.

ورفض الجزاء غير المنصف ـ والذي يقوم به البشر أيضا ـ يخالف افتراضات الاقتصادات التقليدية. فلو أن زيادة الفوائد إلى حدها الأقصى كانت هي كل ما يهم في الموضوع، فإن الفرد يجب أن يأخذ ما يستطيع الحصول عليه وألا يترك أبدا فرصة للاستياء، أو الحسد للتدخل. ومن جانب آخر، يفترض علماء الاقتصاد السلوكي أن التطور قد أدى إلى عواطف تحفظ روح التعاون وأن مثل تلك العواطف تؤثر بقوة في السلوك. وعلى المدى القصير قد يبدو الاهتمام بما

(*) Fair is Fair

التتمة في الصفحة 55

تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل(*)

تلقي الاكتشافات الحديثة للأحافير(1) الضوء على تطور أسماك إلى حيوانات رباعية الأرجل.

«ج. أ. كلاك»

في خلال نحو أربعة بلايين سنة منذ بدء الحياة على الأرض، أحدث التطور بعض التحولات المدهشة. ومن المؤكد أن أحد أكثر هذه التحولات إثارة هو ذلك الذي أدّى إلى ظهور مخلوقات تحمل أرجلا وأصابع من أسماك مرتبطة بالماء ولها زعانف. وفي عصرنا الحالي فإن هذه المجموعة ـ رباعيات الأرجل ـ تشمل كل شيء بدءا من الطيور وأسلافها من الدينوصورات حتى العظايا والثعابين والسلاحف والضفادع والثدييات بما فيها نحن. وقد حورت بعض هذه الحيوانات أطرافها أو فقدتها، غير أن سلفها المشترك كان يملكها ـ اثنين في الأمام واثنين في الخلف ـ حيث كانت الزعانف تضرب بدلا منها.

وقد كان إحلال الأطراف محل الزعانف خطوة حاسمة في هذا التحول، ولكنها لم تكن ـ بأية حال ـ الخطوة الوحيدة. فعندما غامرت رباعيات الأرجل بالانتقال إلى الشاطئ واجهت تحديات لم يصادفها أي حيوان فقاري من قبل. فلم يكن ذلك مجرد نمو أرجل ومشي. فاليابسة وسط يختلف اختلافا جوهريا عن الماء، وفرض غزوه على رباعيات الأرجل أن تطور وسائل جديدة لكي تتنفس وتسمع وتقاوم الجاذبية وتمتد القائمة. وما إن اكتملت هذه التحولات البالغة، أصبحت اليابسة ملكا لها لتستثمرها.

وحتى ١٥ عاما مضت لم يكن علماء الأحافير (الإحاثة) يفهمون سوى القليل عن تسلسل الأحداث

(*) العنوان الأصلي: GETTING A LEG UP ON LAND

(1) fossil: أحفورة (مستحاثة)

الصعود من أجل الهواء. كانت الأكانتوستيكا، وهي حيوانات رباعية الأرجل مبكرة، تصعد إلى السطح في مستنقع (فيما يعرف حاليا بشرقي گرينلاند) قبل نحو 360 مليون سنة. ومع أن هذه الحيوانات كان لها أربع أرجل، فإنها لم تكن قادرة على حمل أجسامها على اليابسة. وبناء على ذلك فبدلا من تطوير الأرجل كتكيف للحياة على اليابسة، يبدو أنها في البداية عملت على مساعدة الحيوان على رفع رأسه خارج المياه الفقيرة في الأكسجين لكي يتنفس، وأنها في وقت لاحق اكتشفت استخدامها للوصول إلى الشاطئ.

التي أدت إلى التحول من الأسماك إلى رباعيات الأرجل. لقد عرفنا أن رباعيات الأرجل تطورت من أسماك لحمية الزعانف تماثل الأسماك الرئوية و**الأسماك المجوفة الأشواك** coelacanth الحالية، وهي علاقة كان أول من اقترحها عالم الأحافير الأمريكي «D.E. كوب» في أواخر القرن التاسع عشر، إلا أن تفاصيل هذا التحول الأساسي ظلت مختفية عن الأنظار. إضافة إلى ذلك، إن التقديرات عن متى أصبح هذا الحدث معروفا وظاهرا تختلف كثيرا وتتراوح من 400 مليون إلى 350 مليون سنة مضت خلال العصر الديڤوني. وقد تمثلت المشكلة في أن السجل الأحفوري الوثيق الصلة بالموضوع كان ضئيلا. ويتألف أساسا من سمكة وحيدة من هذا النوع - **يوستينوپتيرون** *Eusthenopteron* - ورباعي أرجل من العصر الديڤوني - **إكثيوستيگا** *Ichthyostega* - وكان متقدما جدا يصعب معه توضيح أسس رباعيات الأرجل وجذورها.

ومع هذه المفاتيح الضئيلة والقاصرة لم يكن أمام العلماء سوى الحدس والظن في طبيعة ذلك التحول. وربما كان أكثر السيناريوهات المعروفة الناتجة من هذا العمل التخميني ذلك الذي قاده عالم الأحافير الفقارية «A. Sh. رومر» [من جامعة هارڤارد] الذي اقترح في الخمسينات أن أسماكا مثل «يوستينوپتيرون» جنحت تحت ظروف الجفاف واستخدمت أطرافها العضلية لتحريك نفسها إلى مساحة مائية جديدة. وبمرور الوقت، هكذا اتجهت الفكرة، تم انتقاء (انتخاب) تلك الأسماك القادرة على تغطية مسطحات أرضية أكثر والوصول إلى مصادر مائية أبعد، مما أدى أخيرا إلى نشأة أطراف حقيقية. وبمعنى آخر، إن الأسماك خرجت من الماء قبل أن تتطور لها أرجل.

ومن ناحية أخرى، ظهرت منذ ذلك الحين إلى حيز الضوء أحافير كثيرة تدعم هذا التحول. وقد وسعت هذه الاكتشافات مفهومنا لهذه المرحلة الخطيرة من تاريخ الحياة على الأرض على نحو متزايد، وهاجمت الأفكار القديمة الغامضة عن التطور المبكر لرباعيات الأرجل وتنوعها وجغرافيتها الحيوية وإيكولوجيتها القديمة.

إيجاد موطئ قدم(*)

كان بين أولى الأحافير المكتشفة التي تمهد الطريق لفهومنا الحديث عن أصول رباعيات الأرجل، تلك لمخلوق يسمى «أكانثوستيگا» عاش قبل نحو 360 مليون سنة فيما هو حاليا شرقي گرينلاند. وكان أول تعرفه عام 1952 بوساطة «E. چارفيك» [من المتحف السويدي للتاريخ الطبيعي باستوكهولم] على أساس سقفي جمجمتين غير كاملين، إلى أن عثرتُ وزملائي عام 1987 على عينات توضح الهيكل خلف القرنيومي(1) للأكانثوستيگا.

ومع أن هذا الحيوان أثبت في كثير من الوجوه أنه تشريحيا وسطٌ بين الأسماك ورباعيات الأرجل الكاملة النضج كما تخيلها الخبراء، فإنه كشف عن قصة مختلفة عما كان متنبأ به. فها هنا كان مخلوق له أرجل وأقدام، ولكنه فيما عدا ذلك لم يكن مجهزا للحياة على الأرض. فأطراف الأكانثوستيگا كان ينقصها رسغيات **القدم** ankles الحقيقية التي تدعم ثقل الحيوان على اليابسة وتبدو أكثر شبها بمجاديف للسباحة. ورغم أنه كانت لها رئات فإن ضلوعها الصدرية كانت قصيرة جدا لدرجة لا تسمح بمنع انهيار تجويف الصدر عند خروجها من الماء. وفي الواقع لا يمكن إنكار أن الكثير من مظاهر الأكانثوستيگا وخصائصها كانت تشبه الأسماك. فقد أوضحت عظام الساعد نسبيا تذكر بالزعنفة الصدرية لسمكة اليوستينوپتيرون. كما أظهرت مؤخرة الهيكل ذيلا عميقا يشبه المجداف تبدو به أشعة عظيمة طويلة كانت مجهزة غالبا كهيكل للزعنفة. هذا إضافة إلى أنه كانت للحيوان خياشيم إلى جانب الرئات.

ويوحي التشابه السمكي بأن أطراف الأكانثوستيگا لم تكن مكيفة للاستخدام في الماء فحسب، وإنما كانت أيضا الحالة السليفية لرباعيات الأرجل. وبمعنى آخر، إن هذا الحيوان رغم كونه رباعي أرجل بوضوح، فقد كان في البداية مخلوقا مائيا. أسلافه المباشرة لم تترك الماء قط. وقد أجبر الاكتشاف الدارسين على إعادة التفكير في كيفية تسلسل حدوث قائمة التغيرات في الهيكل. لقد أثبتت الأحافير الجديدة أن رباعيات الأرجل طورت هذه الخصائص وهي لاتزال تعيش في الماء، وأنها اختارتها للمشي لاحقا، بدلا من تصور أن مخلوقا مثل يوستينوپتيرون زحف على اليابسة، ثم اكتسب أرجلا وأقداما؛ كما افترض «رومر». ومن ثم، فهذا يعني أن الباحثين كانوا بحاجة إلى إعادة النظر في الظروف الإيكولوجية

إن الكثير من المبتكرات الحاسمة نشأ فيما كانت هذه الحيوانات بَعْدُ مائية على نطاق واسع. ويبدو أن التغيرات الأولى لم تكن مرتبطة بالحركة ولكن بالاعتماد المتزايد على تنفس الهواء.

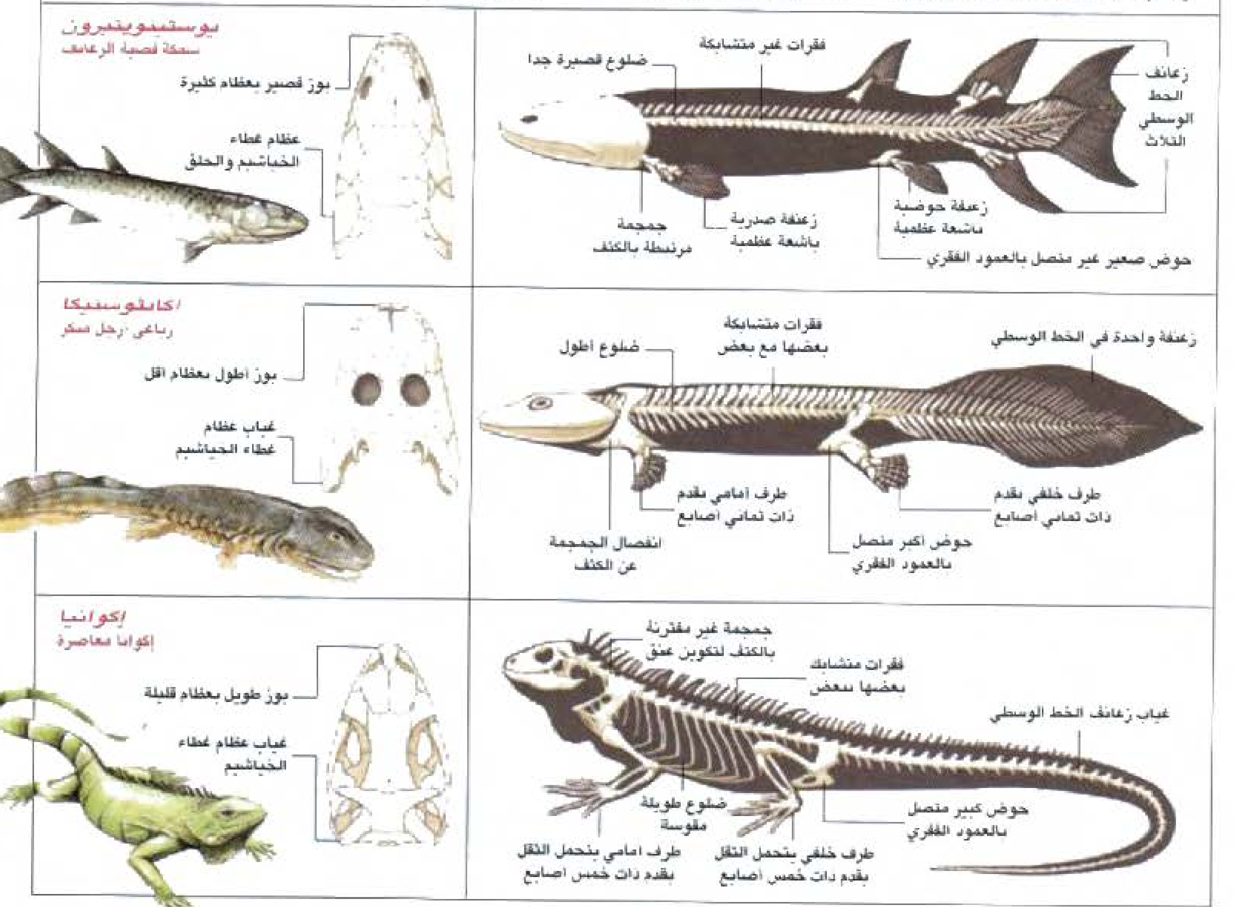
نظرة إجمالية/ أصل رباعيات الأرجل(**)

- **كان ظهور الفقاريات المتحولة إلى اليابسة حدثا يعتبر حجر الزاوية في تطور الحياة على الأرض.**
- **لعقود، أربك السجل الأحفوري (الإحاثي) الرديء الجهود المبذولة لتتبع الخُطى التي أدت إلى إنتاج رباعيات الأرجل الأرضية هذه من أسلافها السمكية.**
- **سدت الأحافير (المستحاثات) المكتشفة على مدى الـ15 سنة الماضية الكثير من الثغرات في القصة، وأحدثت ثورة فيما هو معروف عن تطور رباعيات الأرجل وتنوعها وجغرافيتها الحيوية وإيكولوجيتها القديمة. وتدل هذه المكتشفات الحديثة على أن رباعيات الأرجل قد طورت الكثير من خصائصها وهي لاتزال تعيش في الماء، كما أنها تبين أن الأفراد المبكرة للمجموعة كانت أكثر تخصصا وأكثر انتشارا جغرافيا وإيكولوجيا عما كان معتقدا.**

(*) Finding a Foothold
(**) Overview: The Origin of Tetrapods
(1) postcranial

التحول إلى رباعيات الأرجل(*)

إن تطور رباعيات الأرجل الأرضية من أسماك مائية فصّية الزعانف تضمن تحولا جذريا في الهيكل. فمن بين تغيرات أخرى أصبحت الزعانف الصدرية والحوضية أطرافا لها أقدام وأصابع، وأصبحت الفقرات متشابكة بعضها مع بعض، واختفت الزعنفة الذيلية وسلسلة من العظام التي ربطت الرأس بحزام الكتف (هياكل). وفي الوقت نفسه استطال البوز واختفت العظام التي غطت الخياشيم والحلق (جماجم).

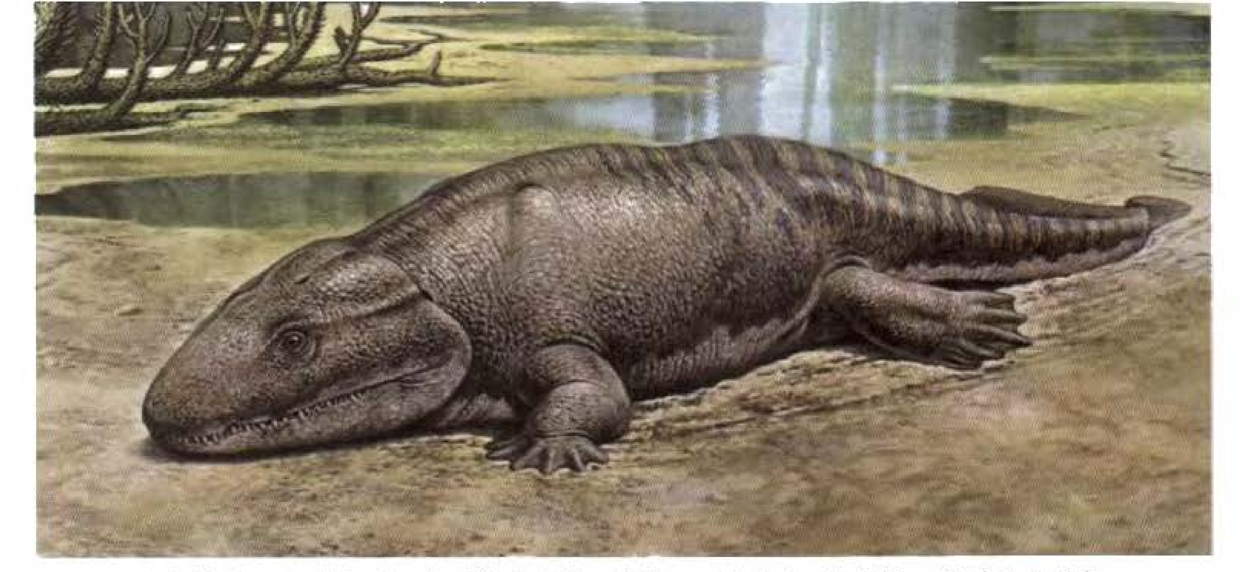


التي أدت إلى نمو الأطراف، لأن الأكانثوستيكا أوضحت أن متطلبات الحياة على الأرض ربما لم تكن هي القوة الدافعة في تطور رباعيات الأرجل.

احتلت الأكانثوستيكا مكانة الحلقة المفقودة بين رباعيات الأرجل الأرضية وأسلافها المائية. بيد أن خاصية من خصائص الأكانثوستيكا لم تكن تدعو إلى التذكير برباعيات الأرجل ولا بالأسماك. كان كل طرف من أطرافها ينتهي بقدم تحمل ثماني أصابع حسنة التكوين بدلا من الخمس المألوفة. وكان هذا عجيبا حقا، حيث كان يعتقد علماء التشريح قبل هذا الاكتشاف أنه في أثناء التحول من الأسماك إلى رباعيات الأرجل نشأت القدم ذات الأصابع الخمس مباشرة من العظام المكونة لزعنفة اليوستينوبتيرون أو مخلوق مشابه له. وكان من الجائز أن يصرف العلماء النظر عن ذلك، كالمعتاد، باعتباره عينة شاذة؛ غير أن هيكلا جزئيا غامضا **للتيوليربيتون** *Tulerpeton*، وهو رباعي أرجل مبكر من روسيا سبق معرفته ـ كانت له قدم ذات ست أصابع. وعينات أخرى للأكانثوستيكا تم العثور عليها في أثناء بعثتنا إلى شرقي گرينلاند كشفت أيضا عن قدم بأكثر من خمس أصابع.

لقد ساعدت أبحاث البيولوجيا التكوينية على إزالة بعض هذا الغموض. فنحن نعلم حاليا أن العديد من الجينات بما فيها سلسلة هوكس *Hox* و**القنفذ الصوتي** *Sonic Hedgehog* تتحكم في عناصر تكوين الزعانف والأطراف. وهذه المجموعات نفسها من الجينات توجد في الأسماك ورباعيات الأرجل ولكنها تؤدي وظائف مختلفة في كل منهما. فعلى سبيل المثال يبدو أن مثيلاتها *Hoxd 11* و *Hoxd 13* تقومان بدور أكبر في رباعيات الأرجل، وحيث تكون مناطقها في برعم الطرف أوسع ومنحرفة مقارنة بمثيلاتها في برعم الزعنفة بالأسماك. وتتكون الأصابع في هذه المناطق ويبقى تحديد كيف تتطور القدم ذات الخمس أصابع من القدم ذات الثماني أصابع للأكانثوستيكا؟ ولكنْ لدينا تفسير مقبول للكيفية التي صارت بها القدم ذات الخمس

(*) Turning Tetrapod



افتتاحية بدائية: الإكتيوستيكا هي أبكر رباعيات أرجل معروفة أظهرت تكيفات للحركة غير السباحة. رغم أنه يبدو من المحتمل أنها تحركت أكثر شبها بالفقمة منها إلى الفقاريات البرية النموذجية. وكان لهذا الحيوان أيضا بعض الخصائص المائية متضمنة ذيلا كبيرا وطرفين خلفيين يشبهان المجاديف، إضافة إلى أذن تبدو أنها متخصصة للاستخدام تحت الماء. أما كيف قسمت الإكتيوستيكا وقتها بين عالمي اليابسة والماء فهو أمر لم يحدد بعد، لكنها ربما تكون قد حفرت أعشاشها لبيوضها على اليابسة وصادت وتغذت في الماء.

أصابع هي نمط رباعيات الأرجل الخطأ. وهو أنه ربما ساعدت على تكوين روابط للرسغيات يتوافر فيها ثبات يكفي لحمل الوزن، ومرونة تكفي للسماح بطريقة المشي التي ابتدعتها رباعيات الأرجل فيما بعد.

وقد لفتت الأكانثوستيكا أيضا الانتباه إلى جزء في التشريح المبكر لرباعيات الأرجل لم يلق ما يستحق من التقدير سابقا، وهو الناحية الداخلية للفك السفلي. فالأسماك عامة لها صفان من الأسنان على امتداد فكها السفلي، بعدد كبير من الأسنان الصغيرة على الصف الخارجي مكمّل لزوج من الأنياب الضخمة وبعض الأسنان الصغيرة على الصف الداخلي. وقد أظهرت الأكانثوستيكا أن رباعيات الأرجل المبكرة كان لها خطة سنية مختلفة: عدد صغير من الأسنان الأكبر على الصف الخارجي واختزال في حجم الأسنان على الصف الداخلي - وهي تغيرات ربما تكون قد صاحبت التحول من التغذية حصريا في الماء إلى التغذية على اليابسة أو برفع الرأس فوق الماء.

وقد مكّنت هذه الرؤية الجديدة من تعرف المزيد من رباعيات الأرجل بين البقايا التي ظلت حبيسة أدراج المتاحف. وكان أحد أكبر هذه الاكتشافات إثارة جنس من العصر الديفوني المتأخر في لاتفيا يسمى ڤنتاستيكا Ventastega وفي خلال التسعينات من القرن الماضي. وعقب اكتشاف الأكانثوستيكا، تبين للعلماء أن فكا سفليا، تم جمعه عام 1993 كان لحيوان رباعي الأرجل. وقد أسفر المزيد من التنقيب الاستكشافي في الموقع الأصلي لڤنتاستيكا عن سرعة اكتشاف عينات أكثر، جيدة بصورة استثنائية، متضمنة جمجمة تكاد تكون كاملة.

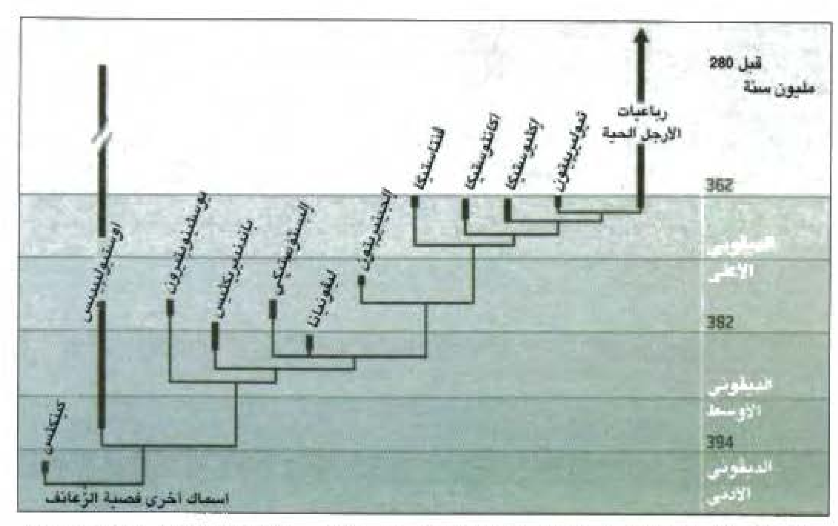
وفي غضون ذلك تم اكتشاف عدد من الأسماك القريبة من رباعيات الأرجل تجسر الثغرة المورفولوجية بين يوستينوپتيرون وأكانثوستيكا. وكان علماء الأحافير قد تعرفوا جنسين من هذه الأسماك قبل عدة عقود ولكنهم لم يمعنوا النظر فيهما إلا حديثا، هما: **پانديريكثيس** *Panderichthys*، ويراوح عمره بين 380 مليون و375 مليون سنة، من منطقة البلطيق الأوروبية، وهي سمكة ضخمة لها بوز مدبب وعينان في أعلى رأسها، و**إلبستوستيكي** *Elpistostege*، ويراوح عمره بين 375 مليون و 370 مليون سنة من كندا، وكان كبير الشبه في الحجم والشكل بالجنس پانديريكثيس. كانا، كلاهما، أكثر قربا لرباعيات الأرجل من يوستينوپتيرون. وفي العام الماضي (2004) اكتشفت بعثة إلى جزيرة الليسمير في القطب الشمالي الكندي بقيادة عالم الأحافير «N. شوبين» [من جامعة شيكاغو] بعض البقايا الرائعة الجيدة الحفظ لسمكة أكثر شبها برباعيات الأرجل حتى من پانديريكثيس وإلبستوستيكي. ولم يشرع «شوبين» وفريقه حتى الآن في وصف هذا النوع وتسميته رسميا، إلا أن الظاهر أنه سوف يكون حيوانا آسرا.

نَفَسٌ من الهواء الطلق(*)

وبفضل هذه الاكتشافات والتحليلات الحديثة، أصبح لدينا حاليا بقايا لتسعة أجناس تدعم بالوثائق نحو 20 مليون سنة من التطور المبكر لرباعيات الأرجل، بل حتى وفكرة أكثر وضوحا عن كيف أصبحت الفقاريات مكيفة للمعيشة على اليابسة. إن واحدة من أهم المفاجآت الممتعة التي تنبثق من هذا العمل هي أنه، كما في حالة تطور الطرف، الكثير من الابتكارات نشأ فيما كانت هذه الحيوانات لا تزال مائية على نطاق واسع. وأن التغيرات الأولى التي تبدو أنها لم تكن مرتبطة بالحركة ولكن بالاعتماد الزائد على تنفس الهواء.

ومن الغريب بما فيه الكفاية أن هذا التحول في التهوية ربما استحث التشكل التدريجي لحزام الكتف والزعنفتين الصدريتين. وبالفعل، كافح علماء البيولوجيا التطورية في تفسير ماذا فعلت الأشكال الانتقالية مثل أكانثوستيكا بأطرافها البدائية إذا لم تكن الحركة. ويقول الافتراض المفصل على أساس الأدلة السائدة بأنه في أثناء التحول التدريجي للزعانف المتجهة للخلف إلى أطراف تواجه الجانبين بمساحات كبيرة لاتصال العضلات، اكتسبت قوة. ومع أن الطرفين الأماميين تطلبا ملايين السنين

(*) A Breath of Fresh Air



صلات القرابة لرباعيات الأرجل. نشأت رباعيات الأرجل من أسماك فصية الزعانف مثل يوستينوبتيرون قبل نحو 380 إلى 375 مليون سنة، في أواخر العصر الديفوني الأوسط.

ليتطوروا إلى الحد الذي يمكنهما من دعم الجسم على اليابسة فلا بد أنهما عملا خلال هذه الفترة على رفع رأس الحيوان خارج الماء لكي يتنفس، وأن الأصابع قد سهلت هذا النشاط بالمساعدة على توزيع الحمل على الأطراف.

وقد أعلن فريق «شوبين» عام 2004 عن اكتشاف **عظم الساعد** humerus لرباعي أرجل عمره 365 مليون سنة، يساند هذه الفكرة. ويظهر من هذا العظم الذي تم استخراجه بالحفر في منطقة غنية بالأحافير في شمال وسط بنسلفانيا تعرف **رد هل (الجبل الأحمر)** Red Hill، أنه كان مرتبطا ببقية الجسم عن طريق رابطة مفصلية من نوع الكرة والحُقّ الذي لدينا ولدى جميع الفقاريات الأرضية، وهو نظام لا يسمح بطريقة للمشي ولكنه يمكّن من الدفع لأعلى الذي يحتاج إليه ويستخدمه رباعي أرجل لالتقاط جرعة من الهواء. كما أنه يساعد الحيوان على التوقف مكانه في الماء بانتظار مهاجمة فريسة.

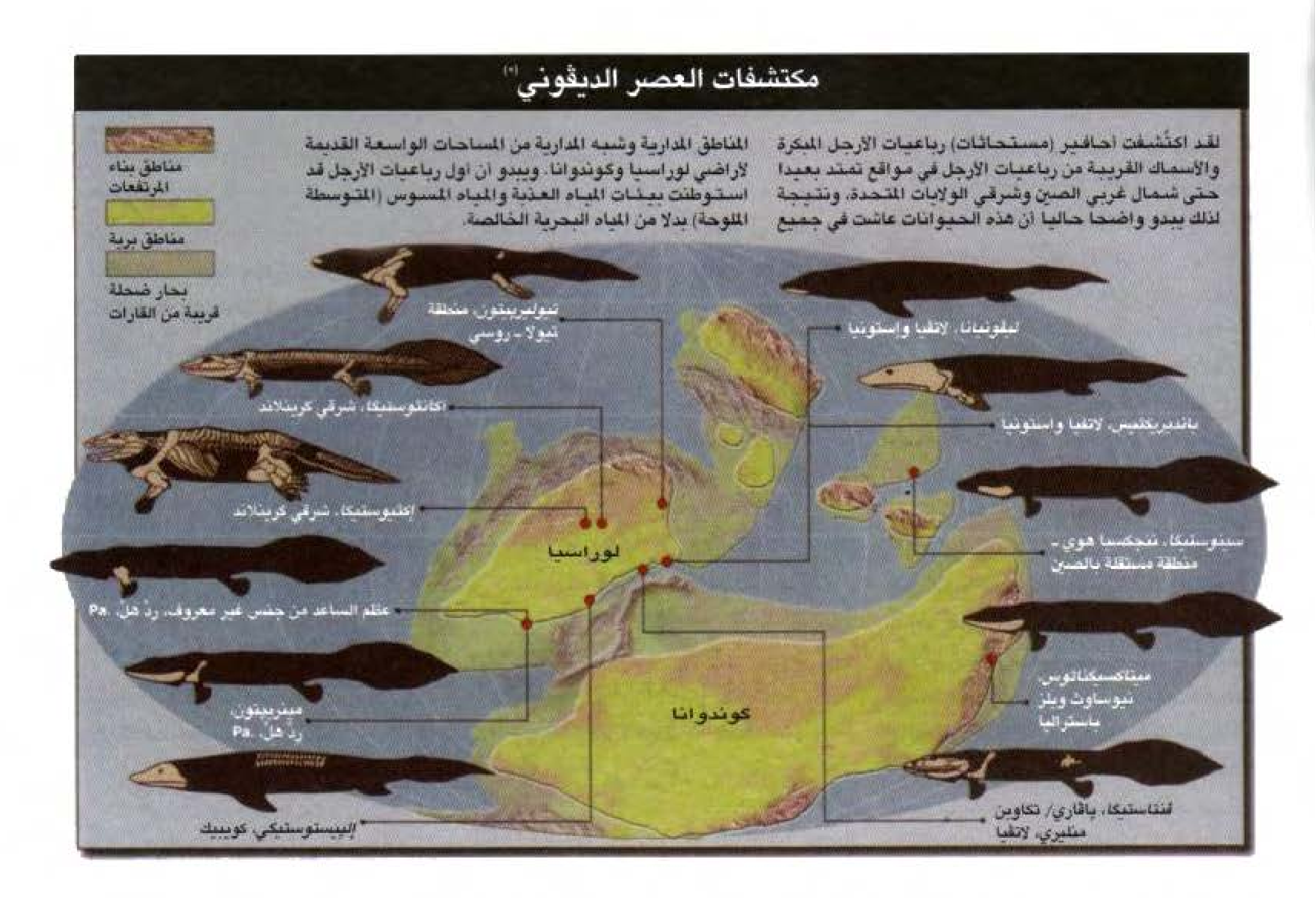
لقد تطلب التنفس فوق سطح الماء، أيضا عددا من التغيرات في الجمجمة والفك. ففي الجمجمة استطال البوز وصارت العظام المكونة له أقل عددا وبروزها أكثر التحاما بعضها ببعض لتقوية البوز بطريقة مكنت الحيوان من رفعه خارج الماء في وسط غير مدعم. وأصبحت العظام في مؤخرة الرأس بدورها أكثر عظام الجمجمة اندماجا بقوة مما يعطي ارتكازا ثابتا لعضلات العمود الفقري التي ترفع الرأس بالنسبة إلى الجسم. كما أدى التحام العظام المكونة للفك السفلي إلى تقوية هذه المنطقة وتسهيل طريقة «المضخة الفمية» المفترضة لتهوية رباعيات الأرجل. ففي هذا النوع من التنفس المستخدم في البرمائيات والأسماك التي تتنفس الهواء، يتمدد التجويف الفمي وينقبض مثل المنفاخ ليتجرع الهواء ويدفعه إلى الرئتين. وربما تطلب الضخ الفمي قوة أكثر للفكين تحت تأثير الجاذبية الأرضية عنها في الماء، حيث تكون الكائنات تقريبا عديمة الوزن.

ربما جاءت تقوية الفكين بدلا من ذلك كتكيف للتغذية على اليابسة؟ هذا ممكن. لقد كانت أبكر رباعيات الأرجل جميعها لاحمة، ولذلك فمن غير المحتمل أن تكون في طورها البالغ قد تغذت على اليابسة أكثر في أثناء مراحل تطورها الأولى، لأن الفرائس الوحيدة التي كانت تجدها كانت من الحشرات وغيرها من مفصليات الأرجل الصغيرة. ومن ناحية أخرى، كان هذا هو عين ما تطلبه الصغار من الفرائس، والتي كانت في البداية هي التي تغامر بالابتعاد خارج الماء للحصول عليها.

وفي الوقت نفسه، إذا رجعنا للهيكل نجد أن سلسلة من العظام التي تربط الرأس بحزام الكتف قد اختفت. ونتيجة لذلك، كان لرباعيات الأرجل، على خلاف الأسماك، عنق عضلي يربط بين الرأس وبقية الهيكل ويسمح بحركة الرأس منفصلا عن الجسم. وخضع الجهاز الخيشومي أيضا لتجديدات جوهرية بفقد بعض العظام وزيادة حجم الفتحة التنفسية التي توجد أعلى الرأس، وتؤدي إلى كيس ممتلئ بالهواء في منطقة الحلق، مما يجعل الجهاز التنفسي بأكمله أكثر ملاءمة لتنفس الهواء.

ولكن لماذا بدأت بعض الأسماك، بعد ملايين السنين من التنفس بنجاح تحت الماء، في التحول إلى الهواء للحصول على الأكسجين؟ تأتي مفاتيح الإجابة عن ذلك من شكل الجمجمة ككل والتي تبدو، في جميع رباعيات الأرجل المبكرة والقريبة منها التي تم اكتشافها حتى الآن، مسطحة تماما عند النظر إليها من أعلى. إن هذه الملاحظة، إضافة إلى المعلومات عن البيئة القديمة التي تم جمعها من الترسيبات التي وجدت فيها هذه الأحافير، توحي بأن هذه المخلوقات كانت متخصصة في المياه الضحلة وتنتقل إلى أمكنة المياه المنخفضة لصيد الأسماك الصغيرة وربما أيضا للتزاوج ووضع البيض. وربما لم يكن مجرد تزامن أن تزدهر النباتات الوعائية خلال العصر الديفوني محوّلة العالمَيْن الأرضي والمائي. ولأول مرة أسقطت النباتات المتساقطة الأوراق أوراقها في الماء مع تغيرات الفصول خالقة بيئات كانت جاذبة للفرائس الصغيرة ولكنها تشكل صعوبة على الأسماك لتسبح فيها. إضافة إلى ذلك، تحتوي المياه الدافئة على أكسجين أقل من المياه الباردة، ولذا كانت هذه المناطق فقيرة في الأكسجين. ومادام الأمر كذلك فإن التغيرات في الهيكل هنا ربما تكون قد سمحت لرباعيات الأرجل المبكرة بالوصول إلى المياه التي لا تستطيع أسماك القرش والأسماك الضخمة الأخرى بلوغها بوضعها فوق القدرة التنافسية. لقد كانت مجرد مصادفة أن هذه الخصائص صارت ملائمة للاستخدام على الشاطئ.

إن هذه المبتكرات المرتبطة بالتنفس جعلت رباعيات الأرجل تتجه لأن تصبح جديرة باليابسة. ومن ناحية أخرى، تطلب التشبث باليابسة تحورات إضافية في الهيكل، وكان



الفحص الدقيق لمنطقة الأذن أحد هذه التطورات. إن الكثير من تفاصيل هذا التحول مازال غير معروف، ولكن من الواضح أننا - حتى في الأسماك الشبيهة برباعيات الأرجل التي لايزال لها زعانف، ومن بينها «بانديريكثيس» - نجد أن الجزء الواقع من الجمجمة خلف العينين صار أقصر متمشيا مع انكماش المحفظتين اللتين تؤويان الأذنين الداخليتين. وإذا كانت، كما يوحي الدليل من البيئة القديمة، أسماك بانديركثيس عاشت في مسطحات أو مصبّات جزرية ضحلة فإن اختزال الأذن الداخلية قد يعكس التأثير المتنامي للجاذبية في الجهاز الدهليزي الذي ينسق التوازن والتوجيه. وفي الوقت نفسه، لعل الزيادة في حجم الحجرة الهوائية في الحلق ساعدت حاسة السمع. وفي بعض الأسماك المعاصرة «يمسك» كيس الهواء بالموجات الصوتية ويمنعها من المرور مباشرة إلى جسم الحيوان، ثم تنتقل من هناك بوساطة العظام المحيطة إلى الأذن الداخلية. وتدل الحجرة الهوائية المتسعة الواضحة في أسماك بانديريكثيس على أنها كانت قادرة على أن تعترض موجات صوتية أكثر، وبذلك تزيد من قدرة الحيوان على السمع.

لقد كانت التحورات في منطقة الأذن مرتبطة أيضا بالتحورات في الجهاز الخيشومي. وللعلم، فإن عظمة تعرف بالفكّية اللامية - تنسق حركات الغذاء والتنفس في الأسماك - تضاءلت في الحجم واستقرت في حفرة في العُلبة الدماغية، وأصبحت **العظم الركابي** stapes. وفي رباعيات الأرجل المعاصرة يقوم العظم الركابي بتكبير الموجات الصوتية ونقلها من طبلة الأذن عبر المجال الهوائي في الحلق إلى الأذن الداخلية. (وفي الثدييات، التي تمتلك جهازا سمعيا فريدا، يشكل العظم الركابي واحدا من عُظَيْمات الأذن الوسطى الثلاث.) لا بد أن المرحلة الأولى من التحول قد حدثت سريعا، حيث كانت في الوضع الملائم عندما ظهرت الأكانثوستيكا. ومن المحتمل جدا أنها نشأت مرادفة للتحول من الزعانف إلى الأطراف ذات الأصابع. ولكن العظم الركابي لم يأخذ دوره المألوف كمكون للأذن السمعية ذات الطبلة المكيفة لليابسة لملايين السنين. وفي الوقت نفسه يبدو أنه عمل في رباعيات الأرجل التي لاتزال مائية كمكوِّن تركيبي للجمجمة.

وهذه التغيرات الهيكلية مجتمعة، استلزمت تغيرات تحولية في نظرتنا إلى رباعيات الأرجل المبكرة. فقد تبددت الكايميرا (الخَيْمر) الخرقاء ذات الخيال الشعبي التي لا تلائم الماء ولا اليابسة. فما كان يُعد في وقت ما أعمالا تطورية جارية - مثل طرف أو أذن غير كاملة النمو - نعرف حاليا أنها كانت تكيفات في حد ذاتها. فهي لم تكن ناجحة دائما، ولكنها مع ذلك كانت تكيفات. وفي كل مرحلة من مراحل هذا التحول كان المبتكرون يندفعون نحو بيئات جديدة، بل إن البعض مما كان في الواقع على أعلى مستوى من التخصص لعمل ذلك.

الخروج من القالب(**)

وعلى العموم، إن رباعيات الأرجل ذات الأطراف والقريبة منها المكتشفة حتى الآن

(*) Devonian Discoveries
(**) Breaking the Mold

كانت جميعها حيوانات ضخمة يصل طولها نحو المتر، وكانت تفترس تشكيلة متنوعة من اللافقاريات والأسماك من دون تمييز أو تخصيص. من ناحية أخرى بدا لنا بعد استثناءات لهذه القاعدة من عدم التخصصية. منها ليڤونيانا *Livoniana* التي اكتشفها في أحد متاحف لاتڤيا «E.P. البرك» [من جامعة أوبسالا بالسويد] عام 2000. ويمثِّل هذا الحيوان ببعض أجزاء الفك السفلي التي تبدي أشكالا عجيبة: فبدلا من الصفّين المألوفين من الأسنان التي تغطي كلا من جانبي الفك هناك سبعة صفوف. ولا نعرف ماذا كانت تلتهم الليفونيانا بهذه الأسنان التي تشبه حبات الذرة على مُطُرها (عرانيسها)، ولكن غالبا ما كان لها وجبتها الغذائية المختلفة عن وجبة أخواتها.

وتشير الدراسات المتجددة على أول ما عرف من رباعيات الأرجل "الإكثيوستيكا" إلى أنها - أيضا - حادت عن الصورة المعتادة. بعكس الأفكار الأولى التي كانت متصورة وطالما حيّرتْ منطقةُ الأذن والأجزاء المتصلة بها في العلبة الدماغية للإكثيوستيكا العلماء والباحثين، لأنها تبدي بنية تختلف عن الموجودة في أي رباعي أرجل آخر أو سمكة من أي عصر. ولكن بمساعدة أحافير جديدة وتحضيرات جديدة لعينات سبق جمعها، وفوق هذا بالأشعة المقطعية الحاسمة للعينات، بدأت ورملاني نتفهم عمليا هذه البنية الغامضة. ويبدو أن أفضل التفسيرات هو أن الإكثيوستيكا كان لها أذن عالية التخصص، ولكنها كانت معدة للاستخدام تحت الماء. فبدلا من أن يكون لها طبلة أذن كما في الكثير من الحيوانات البرية المعاصرة، كان لها على كل جانب من جانبي الرأس حجرة مقوّاة الجدر العليا والجانبية ممتلئة بالهواء، ويمتد في قاعها الغشائي عظم ركابي رقيق يشبه الملعقة، من المفترض أنه كان يهتز استجابة للصوت الذي يصطدم مباشرة بهواء الحجرة. وينقل هذه الاهتزازات إلى الأذن الداخلية من خلال ثقب في جدار العلبة الدماغية. ويدل هذا الترتيب على أن الإكثيوستيكا قد أمضت وقتا طويلا في الماء. وبالمثل فإن الزعنفة الذيلية للحيوان وطرفيه الخلفيين اللذين يشبهان المجاديف توحي بأسلوب الحياة المائية.

إضافة إلى ذلك فإن بعض الأجزاء في هيكل الإكثيوستيكا تنم عن القدرة على التجول على اليابسة. فقد كان لها كتفان وساعدان في غاية القوة كما كانت ضلوع الصدر عريضة جدا ومتراكبة، مكونة مشدا يمنع التجويف الصدري والرئتين من الانطواء والانهيار عندما تكون على الأرض. ومع ذلك من المحتمل أن الإكثيوستيكا لم تتحرك مثل حيوان فقاري بري نموذجي. فقفص الضلوع كان يحد من التموجات الجانبية للجذع التي تحدث نموذجيا في حركة رباعيات الأرجل. وعلى خلاف الأسماك والأكانثوستيكا ورباعيات الأرجل المبكرة الأخرى، كان للإكثيوستيكا أشواك على الفقرات متغيرة الاتجاه على امتداد العمود الفقري مشيرة إلى أن العضلات التي تدعمها كانت مخصصة لوظائف مختلفة وأنها كانت تتحرك بأسلوب فريد. إن هذا الترتيب المتعدد الاتجاهات لأشواك العمود الفقري يماثل الموجود في الثدييات حاليا ولكنه لم يكن معروفا في رباعيات الأرجل الديڤونية حتى درسنا الإكثيوستيكا. وجملة القول إن هذا الدليل الجديد يدل على أنه بدلا من الانحناء في المستوى الأفقي، كما يحدث في جسم السمكة، فإن جسم الإكثيوستيكا كان ينحني أساسا في مستوى رأسي. ولا يبدو أن الطرفين الخلفيين اللذين يشبهان المجاديف قد أسهما بالكثير في الدفع الأمامي في أثناء الحركة، ولكن الطرفين الأماميين الضخمين والكتفين العريضين قامت بذلك. وعلى ذلك ربما كانت الإكثيوستيكا تتحرك على الأرض أكثر شبها بالفقمة برفع ظهرها أولا، ثم بالتقدم بطرفيها الأماميين في الوقت نفسه، وأخيرا بسحب بقية جسمها للأمام.

> مع أن لدينا حاليا تفسيرا جيدا لماذا تطور الطرفان الأماميان بالطريقة التي تطورا بها، فإنه ينقصنا تفسير لمنشأ الطرفين الخلفيين، حيث لا تتضمن أي من الأحافير المكتشفة حتى الآن ما يستدل به عنهما.

في الشهر 9، قمت و«البرك» و «هننك بلوم» [من جامعة أوپسالا] بنشر ورقة علمية تتضمن تفاصيل ذلك في مجلة *Nature*. وإذا كنا على صواب فإن الإكثيوستيكا تعتبر أول الفقاريات المسجلة التي تبدي بعض التكيفات للحركة غير السباحية. ومن المستحيل أن نقول بكل تأكيد ماذا كانت تفعل الإكثيوستيكا على الشاطئ؛ ربما كانت تأكل الأسماك الملقاة على الشاطئ ولكنها كانت تتكاثر في الماء. وفي هذه الحالة ربما استخدمت أذنها المتخصصة للإنصات لأزواجها المحتملة (يستدعي هذا السيناريو أن الإكثيوستيكا كانت تحدث ضجيجا وتنصت إليه). والبديل الآخر أن الإكثيوستيكا كانت تأكل في الماء وتتنصت على الفرائس هناك فيما كانت تستخدم طرفيها الأماميين في حفر أعشاش للبيض على اليابسة. ومع ذلك فإن تصميم جسمها الفريد حُكم عليه بالإخفاق في النهاية، حيث لا توجد أحافير متأخرة عن 360 مليون سنة يمكن نسبتها بكل ثقة إلى نسل الإكثيوستيكا. لا شك أن هناك الكثير من التصاميم التي خلفتها خلال مراحل تطور رباعيات الأرجل المبكرة. وسوف تكون هناك حاجة إلى مزيد من الدراسة لتأكيد هذه الأفكار، إلا أن البيانات الأخيرة تثبت أن رباعيات الأرجل الديڤونية كانت أكثر تنوعا عما كان مقبولا من قبل. نحن نتعلم نتوقع المزيد من هذه المفاجآت عندما تصبح هذه الحيوانات معروفة بدرجة أفضل.

إذا امتلكت أرجلا، أمكنك الترحال(*)

لقد أدت الأحافير التي اكتُشفت على مدى العقدين السابقين إلى أكثر من السماح للعلماء بتتبع الكثير من التغيرات في هيكل رباعيات الأرجل، إذ إنها قدمت بصائر حديثة لمتى تطورت هذه المخلوقات

(*) Have Legs, Will Travel

وأين. نحن حاليا متأكدون بدرجة معقولة أن رباعيات الأرجل قد نشأت قبل 380 إلى 375 سنة في العصر الديڤوني الأوسط المتأخر، وهو مدى تاريخي أكثر إحكاما مما اقترضه الباحثون سابقا، كما قررنا أن الممثلين المبكرين لهذه المجموعة كانوا منتشرين في جميع أنحاء العالم.

كانت رباعيات الأرجل الديڤونية منتشرة في أنحاء العالم تمتد من مواقع هي حاليا الصين وأستراليا، وهي التي ظهرت فيها مخلوقات تعرف باسم «سينوستيگا» *Sinostega* و«ميتاكسيگناثوس» *Metaxygnathus* على الترتيب، إلى شرقي الولايات المتحدة، حيث تم العثور على عظم الساعد من «ردْ هِل» وحيوان يسمى «هينربيتون» *Hynerpeton*. وبوضع مناطق الأحافير على خريطة زمنية قديمة نجد أن هذه الحيوانات استوطنت جميع المناطق المدارية وشبه المدارية لقارة عظمى تتضمن لوراسيا Laurasia في الشمال وگوندوانا Gondwana في الجنوب. إن توزيعها وانتشارها في جميع المناخات الدافئة تقريبا يعتبر ميثاقا على مدى نجاح هذه المخلوقات.

أقامت رباعيات الأرجل الديڤونية في مدى واسع من البيئات في هذه المواقع. وتشير الترسيبات في شرقي گرينلاند، وهي التي كانت الأولى في تقديم هذه المخلوقات، إلى أن المنطقة في وقت ما كانت حوضا لنهر عريض تسوده فيضانات دورية تتبادل مع ظروف أكثر جفافا. لقد كان النهر في الأصل نهرا للمياه العذبة بلا جدال، ولذلك شكَّل الأساس في الحكمة المتلقاة عن البيئات التي تطورت فيها رباعيات الأرجل. إلا أن اكتشاف مخلوقات مثل «ڤنتاستيگا» *Ventastega* و«تيولربيتون» *Tulerpeton* في ترسيبات تمثل أمكنة ذات درجات ملوحة مختلفة أدى إلى الارتياب في حقيقة هذا الأمر. لقد أثبت موقع ردْ هِل في پنسلڤانيا أنه غني بصفة خاصة في تقديم قرينة لرباعيات الأرجل بوجود أنواع كثيرة من الأسماك واللافقاريات والنباتات. ومثل ترسيبات شرقي گرينلاند، هو يمثل حوض نهر. إضافة إلى ذلك، توحي الدراسات البيئية القديمة بأن مناخ المنطقة كان معتدلا بدلا من الظروف البيئية المرتبطة بمكتشفات گرينلاند. وبمعنى آخر، إن رباعيات الأرجل المبكرة ربما كانت حتى أكثر انتشارا مما كنا نعتقد.

مهمّة لم تكتمل(*)

مازال أمامنا الكثير لنتعلمه عن التغيرات التشريحية التي صاحبت نشأة رباعيات الأرجل. فمع أن لدينا فرضية معقولة عن لماذا تطور حزام الكتف والطرفان الأماميان بهذه الطريقة، ينقصنا تفسير ملائم لنشأة معقد الطرفين الخلفيين القوي ـ وهو السمة المميزة لرباعيات الأرجل ـ لعدم تضمّن أي من الأحافير المكتشفة حتى الآن تفسيرا لها باستثناء عينات من الإكثيوستيگا والأكانثوستيگا التي تحتفظ بهذا الجزء من التشريح. وفي كلا الحيوانين يبدو الطرفان الخلفيان حسنَي التكوين لدرجة يصعب معها إظهار كيفية اتخاذهما هذا الشكل. ومن المؤكد أنه لا يوجد سيناريو واحد يفسر جميع مراحل التحول. ونريد أيضا أن نحصل على صورة أكثر وضوحا عن ترتيب التغيرات التي حدثت في الهيكل: مثلا، متى تطور الطرفان الخلفيان بالنسبة إلى الطرفين الأماميين والأذن.

سوف يؤدي اكتشاف المزيد من الأحافير إلى إزالة بعض هذا الغموض، وكذلك تفعل التبصرات في البيولوجية التكوينية التطورية. وعند هذا الحد تبدأ دراسات ميكانيكية التحكم الوراثي التي تحكم تكوين منطقة الخياشيم في الأسماك ومنطقة العنق في الثدييات والطيور، بتقديم تلميحات عن العمليات التي تميز كلا من رباعيات الأرجل والأسماك وأيها تنفرد به رباعيات الأرجل. وعلى سبيل المثال، إننا نعرف أن رباعيات الأرجل فقدت جميع العظام التي تحمي الخياشيم في الأسماك، إلا أن الجينات التي تحكم تكوينها مازالت موجودة في الفئران، حيث تؤدي وظائفها بطريقة مختلفة. كما أننا تأكدنا أن المسارات الكيميائية الحيوية التي تشرف على تكوين الأطراف ـ في منطقة العنق قد انهارت. ومع أن علماء البيولوجيا يستطيعون بسهولة حث نمو أطراف إضافية على خاصرة رباعي الأرجل، إلا أن ذلك لا يمكن إحداثه في منطقة العنق. وعندما طورت رباعيات الأرجل عُنقا لها، حدث ما يمنع الأطراف من النمو هناك.

وهناك أسئلة أخرى نجد صعوبة أكثر في الإجابة عنها. وقد يكون شيئا رائعا أن نعرف أي واحد من السياقات البيئية الكثيرة التي ظهرت فيها أحافير رباعيات الأرجل، عزز الأفراد الأولى لهذه المجموعة (إن الدليل المتاح يشير فقط إلى أن هذه الحيوانات لم تظهر أول مرة في مواقع بحرية بالضبط). ونود أيضا أن ندرك تماما الضغوط التطورية التي كانت تعمل في أثناء كل مرحلة من مراحل التحول. ولعدم توافر سجل أحفوري جيد أو إمكان الاستعانة بآلة زمنية، فربما لن نتمكن أبدا من لملمة أجزاء اللغز المحير لتطور رباعيات الأرجل معا. ولكننا بالعمل المستمر يمكننا أن نتوقع سد الكثير من الثغرات المتبقية في قصة كيف اكتسبت الأسماكُ الأرضَ اليابسة. ■

(*) Unfinished Business

المؤلفة

Jennifer A. Clack

أستاذة قارئة في علم أحافير (إحاثة) الفقاريات. وقد حصلت على الدكتوراه في العلوم من جامعة كمبردج وتتركز أبحاثها على أصول رباعيات الأرجل منذ 25 عاما. وهي زميلة للجمعية الملكية.

مراجع للاستزادة

Gaining Ground: The Origin and Evolution of Tetrapods. Jennifer A. Clack. Indiana University Press, 2002.

The Emergence of Early Tetrapods. Jennifer A. Clack in *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* (in press).

Scientific American, December 2005

الترجمة الآلية مازالت هدفا بعيد المنال(*)

تبعث الطرائق الإحصائية الأمل بانتشال الترجمة الآلية من الدوامة.

‹د› ستكس›

أسطورة الصوديوم نيبال آسيا الأسد، الساحرة، خزانة ملابس الروح الشريرة «تفتقر أصلا الروح الشريرة تمتنع عن الثلاثية» غني بالنكهة الشاعرية والفنية، ولم تسمح أيضا «بود هارلي» القصة المتسلسلة لديها المسرة اللامنتهية التيار التحتي سيكون إعصاريا

إن الهراء في الفقرة السابقة ما هو إلا ترجمة من الصينية إلى الإنكليزية أجريت باستخدام Altavista's Babelfish وهو مُترجِم آليّ شائع الاستخدام، تستضيفه ألتافيستا على شبكة الإنترنت. وبلغة إنكليزية متماسكة، وُضعت، باللغتين الصينية والإنكليزية في موقع صحيفة *China Post* التايوانية على الوب، تُقرأ هذه الفقرة على النحو التالي:

إن «سجلات نارنيا» لا تداني، من حيث رؤيتها الشعرية، ثلاثية «سيد الخواتم»، ولا تُضمر الخفايا المظلمة التي تجعل سلسلة «هاري پوتر» ساحرة بلا حدود

توضح هذه الفقرة أن الترجمة الآلية أو MT، كما يُرمز إليها أحيانا، هي من أكثر فروع حقل الذكاء الاصطناعي(1) تخلفا، على ما يجابه هذا الحقل من مصاعب كأداء، إذ يكفي ورود اسم علم في النص، أو بضع عبارات مُصاغة بعناية، لتضليل برمجيات الترجمة الآلية بصورة تامة. ومع ذلك، فخلال السنوات القليلة الماضية، أدخلت مقاربةٌ بحثية جديدة الحياةَ ثانية في أوصال الترجمة الآلية؛ إذ يقدِّر مطورو برمجيات الترجمة الآلية أن طرائق القوّة الساحقة في الحوسبة(2) ـ وهي طرائق لتحديد احتمال مطابقة كلمة أو عبارة ما في إحدى اللغات لكلمة أو عبارة في لغة أخرى ـ ستُقرِّب، في آخر المطاف، الترجمة الآلية من الأداء البشري.

أصعب من لعبة الشطرنج(**)

إن التزايد المستمر في قدرات العتاد الحاسوبي (الكيان الصلب) والخوارزميات البرمجية اليوم قد مكّن الحاسوب من التفوق على أساطين الشطرنج. ولنتذكّر انتصار حاسوب شركة IBM الفائق supercomputer المدعو Deep Blue على ‹ج› كاسپاروف› عام 1997. لكن، بصورة عامة، فإن الترجمة الآلية لم تشهد إلا تقدما متقطعا خلال سنيّها الخمسين ـ بل إن بعض النقاد يرون سماحة لا تستحقها الترجمة الآلية حتى في هذا التشخيص.

ففي عام 1954 استعرضت الشركة IBM وجامعة جورج تاون ترجمة ما يفوق ستّين جملة من اللغة الروسية إلى اللغة الإنكليزية. وذكر البيان الصحفي الذي أصدرته الشركة IBM بتاريخ 1954/1/8، باعتزاز: «تمت اليوم لأول مرة ترجمة اللغة الروسية إلى الإنكليزية بوساطة دماغ إلكتروني.» وترقّبت الجهات العسكرية كما توقع علميّو الحوسبة استخدام الترجمة الآلية على نحو روتيني خلال خمس سنوات، لكن لم تتحقّق توقعاتهم.

وفي عام 1966 أعلنت اللجنة الاستشارية لمعالجة اللغة الآليّة، التي تدعمها حكومة الولايات المتحدة، أنّ الإنسان قادر على القيام بالترجمة على نحو أسرع وأدقّ وبنصف التكلفة التي تقتضيها الترجمة الآلية. واختتمت الدراسة بالقول: «في المنظور المباشر أو المتوقع ليس هناك من أمل بالوصول إلى ترجمة آلية ذات فائدة.»

ومن ثم شحّت الموارد المالية المخصصة لأبحاث الترجمة الآلية ولم يتحقق سوى تقدّم متواضع خلال العقود التالية. وفي أواخر الستينات دعمت القوات الجويّة الأمريكية شركة صغيرة تدعى سيستران Systran صممت مُترجما آليّا ـ استُخدمت نسخته المتوافرة على الإنترنت في ترجمة الفقرة الأولى الواردة في مطلع هذه المقالة ـ للتعامل على نحو أوليّ مع الكم الهائل من الوثائق الروسية المطلوب ترجمتها إلى الإنكليزية حينذاك.

ويرتكز مُترجم الشركة سيستران إلى قواعد حول اللغة الأصل(3) واللغة الهدف(4) باللغة المنشودة، كما هي الحال في منظومة الدماغ، الأصلية التي وضعتها الشركة IBM، مستندة إلى ست قواعد بدائية تحكم **النحو** syntax **والدلالة** semantics وما شابه. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تترجم الكلمة "o" بالروسية من قبل حاسوب 701 إلى اللغة الإنكليزية بالكلمتين "of" أو "about". فإذا تلت الكلمة "o" الكلمة "*nauka*" أي (العلم أو "science" بالإنكليزية)، فإن الحاسوب يبحث عن القاعدة المناسبة التي تشير عليه بترجمة "o" إلى "of" بالإنكليزية ـ أي إن العبارة الروسية "nauka o" تترجم إلى الإنكليزية "science of" بدلا من "science about".

تعتبر الشركة سيستران، التي تتخذ باريس مقرا لها، أكبر شركة للترجمة الآلية في العالم. ومع أن لائحة زبائنها تضمّ گوگل Google و ياهو Yahoo و AOL التي تمتلكها الشركة تايم وارنر Time Warner، فإن عائداتها السنوية لم تتجاوز 13 مليون دولار عام 2004 ـ وهذا ضمن سوق للترجمة بفروعها تُقدَّر قيمتها الإجمالية في كافّة أنحاء العالم بعشر بلايين دولار سنويا. ويقول ‹د› ساباتاكاكيس› [رئيس مجلس إدارة سيستران ومديرها]: «إننا صغار جدا، لكننا الأكبر.»

(*) THE ELUSIVE GOAL OF MACHINE TRANSLATION

(**) Tougher Than Chess

(1) artificial intelligence

(2) brute-force computing methods

(3) source

(4) target



لا مزيد من القواعد(*)

يجهد الخبراء واللغويون العاملون في منظومات الترجمة الآلية المستندة إلى القواعد، لصياغة معاجم ضخمة وقواعد تتعلق بالجوانب النحوية والدلالية لتوليد نص مترجم إلى اللغة الهدف. وتتضمن المنظومات التي باتت متوافرة في الأسواق عشرات الآلاف من قواعد النحو لمجموعة تضم مئات الآلاف من الكلمات.

وابتداء من أواخر عام 1980، وضعت الشركة IBM منظومة للترجمة من الفرنسية إلى الإنكليزية سميت كانديد Candide لا تتطلب معرفة لا **بالقواعد** grammar ولا **بالنحو** syntax. وقد تجنبت المنظومة تبني القواعد مفضلة النظر إلى نصوص مترجمة، ومطابقة الكلمات بين اللغتين (تقوم المنظومات الأكثر حداثة باستخدام عبارات كاملة بدلا من مجرد كلمات) وتستنبط في نهاية المطاف احتمالات - استنادا إلى نظرية بايز Bayes - لتقدير ما إذا كانت كلمة إنكليزية توفر ترجمة صحيحة للكلمة التي تقابلها بالفرنسية.

وقد توجهت مقاربة أخرى، اقتصرت على تحليل عدد كبير من النصوص باللغة الإنكليزية، لتقدير ما إذا كانت الكلمة التي ترجمت إلى الإنكليزية تتناسب من حيث قواعد اللغة مع ما يحيط بها من كلمات، بحيث يمكن استخدام الكلمة أو العبارة التي تمتلك الاحتمال الأكبر من حيث تناسبها مع ما يحيط بها من كلمات. في «فك رموز» أو ترجمة النصوص مستقبلا - ومن ثم ضم الكلمات المترجمة الواحدة مع الأخرى لبناء وثائق مكتملة. فإذا أظهرت الإحصاءات أن الكلمة *poudrerie*، مثلا، تقابل اعتياديا كلمة «ثلج **هباب**» blowing snow فإن هذا يعتبر، من حيث المبدأ، غاية الأرب.

وقد توقفت الشركة IBM في نهاية المطاف عن متابعة جهودها في هذا المضمار، ففي أواخر التسعينات كانت ترجمة صفحة واحدة فقط تستغرق يوما كاملا. لكن الظروف أخذت بالتحول بعدئذ، فقد ولدت شبكة الانترنت نموا سريعا في النصوص الضخمة التي وضعت بلغتين، كما فرضت الانترنت الحاجة إلى الترجمة على نحو لم يكن من المستطاع تلبيتها على الإطلاق من قبل البشر.

وفي عام 1999 عقدت المؤسسة الوطنية للعلوم (NSF) ورشة عمل في جامعة جونز هوپكنز استهدفت الوصول إلى مجموعة من الأدوات البرمجية التي يمكن تعميمها ضمن المجتمع العلمي. وقد اجتذب هذا الحدث الاهتمام وحفز نشاطا جديدا في مضمار الترجمة الآلية. وفي عام 2002 أسس واحد من المشاركين في ورشة العمل هذه، وهو «K. نايت» [من الجامعة U.C.S] مع «D. ماركو» [من الجامعة ذاتها] شركة أسموها لانكويج ويفر Language Weaver (أو نساج اللغة)، وهي الشركة الوحيدة للترجمة الإحصائية. وتدعي هذه الشركة حاليا أن بإمكانها ترجمة 5000 كلمة في الدقيقة من الإنكليزية إلى العربية والفارسية والفرنسية والصينية والإسبانية، وبالعكس.

كوكل رابحة(**)

وظفت كوكل «F. أوك» وهو أحد المشاركين في ورشة العمل المذكورة آنفا وخريج الجامعة U.C.S. وفي صيف عام 2005، تفوقت منظومة كوكل التي صممها «أوك» والتي كانت وقتها في الطور التجريبي، على منافسيها، كالمنظومة التي وضعتها الشركة IBM، لتربح الجوائز في جميع الفئات التي تضمنتها مسابقة نظمها المعهد الوطني للمعايير والتقانة، لترجمة مئة برقية من برقيات الأنباء من العربية أو الصينية إلى الإنكليزية. وقد ذكر «أوك» أن إدخال نصوص تقابل في مجموعها مضمون مليون كتاب إلى برمجيات الترجمة الآلية كان مفتاحا لتحسين الأداء. ويقابل «أوك» أداء منظومة الترجمة الآلية، التي تستخدمها كوكل (سيستران) حاليا، بالمنظومة التجريبية التي صاغها هو وزملاؤه.

منظومة كوكل/سيستران:
«الطبيب يشير، إن النواة البراقة تعيد التنظيم تستعيد عافيتها الـ تقريبا شهر واحد.»
منظومة كوكل التجريبية: «صرح الأطباء أن «أكيهينو» ملزم ببرنامج من الراحة يستغرق قرابة شهر.»

لقد وضع الاهتمام الذي ولدته الترجمة الآلية الإحصائية سيستران في موقع دفاعي. ويعلق «ساباتاكاكيس» بالقول: «إنك تحتاج إلى قواعد عند تعلمك لغة أجنبية ما، ولا يتعلم المرء لغة بالطرق الإحصائية وحدها.» ويقول ساباتاكاكيس إن سيستران تستخدم طرقا إحصائية عندما تطور منظومات للترجمة الآلية للعمل ضمن حقول ضيقة، مثلا، من أجل ترجمة وثائق براءات الاختراع. لكن تبني طرق إحصائية على الصورة التي يتبعها حاليا فريق «أوك» يكاد أن يكون تقنية للتسويق. ومازالت الشركة تستخدم خمسين موظفا في البحث والتطوير، من بينهم لغويون. ويتابع «ساباتاكاكيس»: «إن الفرق الرئيسي بين سيستران وكوكل هو ادعاء

(*) No More Rules
(**) Google is a Winner

ترجمة آلية إحصائية[*]

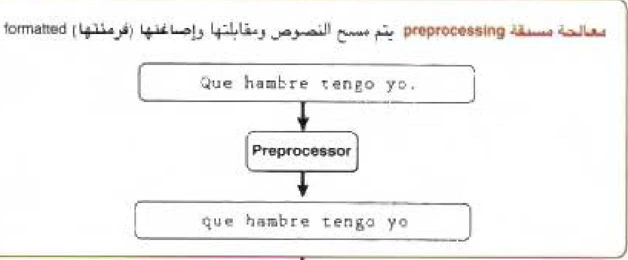
أثبتت الطرق الإحصائية كفاءة تفوق ما لغيرها من طرق الترجمة الآلية المؤتمتة التي تستند إلى قواعد صاغها المترجمون البشر.

وتستغل الطرق الجديدة للترجمة الآلية القوة الهائلة التي تمتلكها الحواسيب حاليا، فتحلل بسرعة فائقة نصوصا مترجمة أصلا لتحدد الاحتمال أن كلمة أو عبارة في اللغة الواحدة تطابق نظيرة لها في اللغة الأخرى.

إدخال نصوص تمت ترجمتها سابقا
تشكل النصوص المترجمة أصلا من مصادر عديدة أساسا للترجمات المؤتمتة.



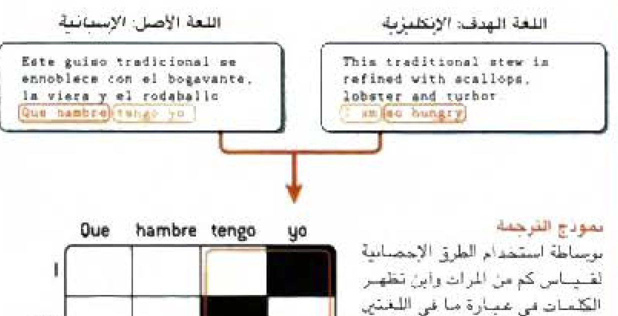
معالجة مسبقة preprocessing يتم مسح النصوص ومقابلتها وإصاغتها (فرمتتها) formatted



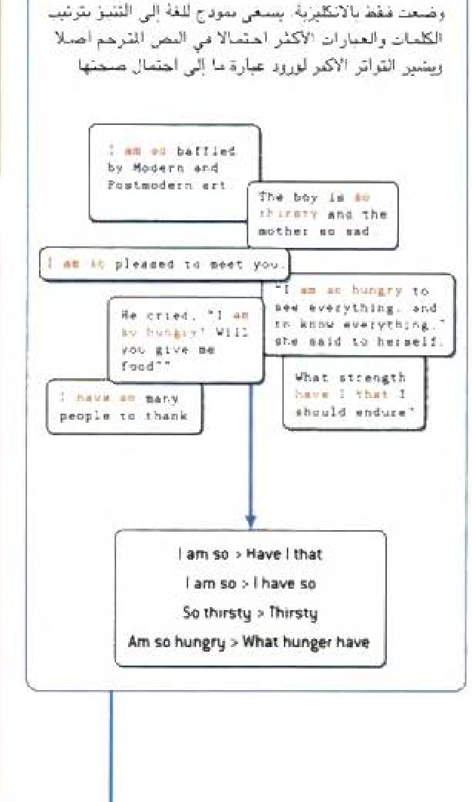
مطابقة العبارات في النصوص المترجمة
ينتقي نموذج الترجمة عبارتين اسميتين أو ثلاثا من لغة المصدر (وهي الإسبانية في هذا المثال) تطابق اللغة الهدف (الإنكليزية).



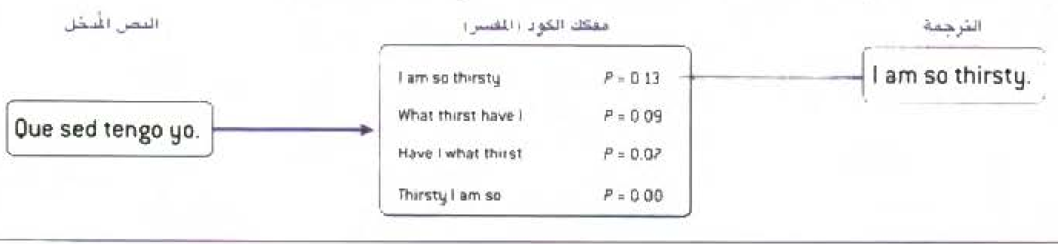
نموذج الترجمة
بوساطة استخدام الطرق الإحصائية لقياس كم من المرات وأين تظهر الكلمات في عبارة ما في اللغتين، يشتق نموذج الترجمة نمطا لإعادة ترتيب الكلمات. ويستغل النموذج أيضا تقنيات أخرى، كاختزال عدة كلمات بالإسبانية لتقابل كلمة مترجمة واحدة (غير معروضة).



نموذج اللغة
انطلاقا من التحليلات الإحصائية المجراة على نصوص وضعت فقط بالإنكليزية، يسعى نموذج للغة إلى التنبؤ بترتيب الكلمات والعبارات الأكثر احتمالا في النص المترجم أصلا. ويشير التواتر الأكبر لورود عبارة ما إلى احتمال صحتها.



مفكك الكود (المفسر) عندما يتم إدخال جملة جديدة وتختلف قليلا أو كثيرا عن النص الذي تمت معالجته (هنا لا يمكن الاستعاضة عن hambre إلا بـ sed) ـ يقدم مفكك الكود (المفسر) عدة ترجمات افتراضية، ومن ثم ينتقي تلك الأكثر احتمالا من بينها.



(*) Statistical Machine Translation

الأخيرة أنها لا تحتاج إلى الصينيين أصلا لتطوير تطبيقات صينية بفضل السحر والجمال اللذين يميزان منظومتها.» ويضيف «إن لم نعمل مع بعض خبراء اللغة الصينية، فإن منظومتنا قد تحتوي أخطاء جسيمة.»

إن الحدود التي تميّز الفريقين أحدهما من الآخر قد بدأت تفقد وضوحها، لأن الباحثين في مضمار الترجمة الآلية الإحصائية قد



هل يمكن للترجمة الآلية أن تقدم ما يفوق مجرد فكرة تقريبيّة عن محتوى نصٍّ وُضع بلغة أجنبيّة؟

بدؤوا بإدخال تقنيات تأخذ بالاعتبار البنية النحوية للجملة. وتتجاوز هذه الأساليب تدخّل خبراء اللغة: فيمكن لنموذج نحويّ أن يقدّر احتمال الحاجة إلى إعادة ترتيب عبارة مؤلّفة من اسم وصفة عند ترجمتها من الإنكليزية إلى الفرنسية. ويقول «نايت» [من شركة لانگويج ويفر] «إن الاعتماد على عبارات بدلا من كلمات مُنفردة يسمح للطرق الإحصائية أن تعالج الجوانب النحويّة، بحيث تتجنّب ترجمة اسمه، على سبيل المثال، عندما يرد ضمن نص ما، بـ الفارس.»

وتضم مؤسسة أبحاث مايكروسوفت مجموعة كبيرة من الإخصائيين في اللغات الطبيعية، عملت خلال الأعوام الست الماضية في مضمار الترجمة الآلية. في البدء، تركز اهتمام هذه المجموعة على المنظومات المستندة إلى القواعد[1]. لكنها تستخدم التقنيات الإحصائية في أعمالها بصورة متزايدة. وقد استخدمت مايكروسوفت المقاربات الإحصائية بالدرجة الأولى عندما قامت قبل فترة وجيزة بترجمة مواقع خدمات الزبائن إلى اثنتي عشرة لغة، من ضمنها الروسية والعربية والصينية، ولم يتم تحرير النص بعد الترجمة. ويلحظ «ريتشاردسون» [الباحث الرئيسي في وحدة معالجة اللغة الطبيعية] «لابد من الاعتراف بأن بعض أجزاء النص المترجم مستهجن، لكن هناك أجزاء أخرى جيدة للغاية.» ويضيف «إن النص المترجم باستخدام المقاربة الإحصائية يُقارن، بل ربما بدأ يفوق، المستوى الذي وصلت إليه المنظومات القاعديّة التي كنا نستخدمها في الماضي.»

فهم لب الموضوع(*)

على أية حال، فإن جميع هذه التقنيات تطرح التساؤل حول ما إذا كانت الترجمة الآلية ستهزم الإنسان في مهنة الترجمة التي استأثر بها حتى الآن مضاهية ما قام به ديپ بلو Deep Blue حاسوب الشركة IBM، الذي صُمّم ليلعب الشطرنج. فهل تستطيع الآلة أن توفّر ما يفوق مجرد فهم لبّ نصٍّ وُضع بلغة أجنبية، أو مجرد تكوين فكرة عامة عن مضمونه؟ يقول «K. هندزل» وهو متحدث باسم رابطة المترجمين الأمريكيين «إن التفاؤل الراهن لا يعدو كونه استمرارا لعقود من الادعاءات المبالغ بها، والمرتكزة، مثلا، على فكرة «ترجمة آلية كليا ومتفوقة النوعية»، التي يُرمِّزها الإخصائيون بالأحرف الأولى من العبارة المقابلة باللغة الإنكليزية: fully automatic high-quality translation، أو اختصارا FAHQT. ويضيف «هندزل» قائلا «إن فهم فكرة النص، الذي يمكن للترجمة الآلية أن تقدمه، يساعد على التعامل مع كميات هائلة من النصوص الأجنبية، مادام المرء قد أدرك أن الناتج غير موثوق، من حيث المضمون.» فالترجمة التقريبية محفوفة بالمخاطر. ويورد على سبيل المثال ترجمة من العربية إلى الإنكليزية تذكر «اشتباكا» بين جانبين، مما استثار اهتمام موظفي الأمن لكن النص كان يشير إلى لعبة لكرة القدم، وليس إلى هجوم إرهابيّ أو معركة وشيكة.

ويلحظ «K. دقلن» [المدير التنفيذي لمركز جامعة ستانفورد لدراسات اللغة والمعلومات] أن الترجمة الآلية لن تضاهي أبدا ما يمكن أن يقوم به اللغويّ من البشر. ويضيف «دقلن» «إن استخدام التقنيات الإحصائية، المصحوب بالمعالجات السريعة والذاكرة السريعة الكبيرة السعة، يعني أننا سنشهد منظومات للترجمة تستطيع العمل بصورة مقبولة في العديد من الظروف. إلا أن الترجمة السلسة التي يمكن للإنسان الخبير القيام بها، فهي في نظري أمر لا يمكن للآلة تحقيقه.»

ويعارض «نايت» [الرائد في مضمار الترجمة الإحصائية] هذه النظرة ويشير إلى التقدّم الذي تم إحرازه خلال هذا العقد. وهو لا يتوقّع حدودا لما يمكن أن تحرره التقانة، التي ستتوصل حسب اعتقاده إلى ترجمة من مستوى يضاهي ما يقوم به الإنسان لجميع النصوص، ربما باستثناء النصوص الشعرية. وقد عرض «نايت» نماذج غير معلّمة لترجمات قام بها مترجمون من البشر إلى جانب ترجمات آلية فالتبس على المستمعين التفريق بين هذين النوعين من النصوص. ويقول «نايت» «دعونا لا نخدع أنفسنا - هنالك الكثير من الأخطاء في الترجمات التي يقوم بها المترجم البشري. ومستوى هذه الترجمات ليس بالجودة التي قد يتخيلها المرء.» ولكن لكي يبرهن الرواد في حقل الترجمة الإحصائية أن ترويجهم للمجموعة الراهنة من أدوات الترجمة الآلية يتجاوز حملة المبيعات المعتادة، لابد أن يبينوا أن أدواتهم هذه تحقق الآن فكرة «الترجمة الآلية كليا من نوعية متفوقة.» وعندئذ فقط ستتجاوز التقانة، كما يعبّر «ريتشاردسون» من شركة مايكروسوفت، مجرد «وعود بتحقيق الترجمة الآليّة.» ■

(*) العنوان الأصلي: Getting the Gist

(1) أو المنظومات القاعدية rule-based systems

مراجع للاستزادة

The History of Machine Translation in a Nutshell. Online at John Hutchins's Web site: **http://ourworld.compuserve.com/homepages/WJHutchins/nutshell.htm**

A Statistical MT Tutorial Workbook. Kevin Knight. Online at **www.isi.edu/natural-language/mt/wkbk.rtf**

The Candide System for Machine Translation. Adam L. Berger et al. Online at **http://acl.ldc.upenn.edu/H/H94/H94-1028.pdf**

Scientific American, March 2006

العلم وراء لعبة سودوكو(*)

لا يتطلب حلُّ إحدى أحجيات لعبة سودوكو الاستعانة بعلم الرياضيات، ولا حتى بعلم الحساب. ومع ذلك، تطرح هذه اللعبة عددا من المسائل الرياضياتية المثيرة.

<د. P. ديلاهاي>

قد يتوقع المرء أنّ لعبة تتطلب استعمال المنطق، لا تستهوي سوى عدد جدّ قليل من الناس - ربما كانوا رياضياتيين أو من هواة الحواسيب أو من المقامرين المحترفين. بيد أن لعبة سودوكو Sudoku اكتسبت خلال مدة قصيرة جدا شعبية استثنائية، مذكِّرة بالهوس الذي أثاره مكعب روبك Rubik's cube في مطلع الثمانينات من القرن الماضي.

وخلافا لمكعب روبك الثلاثي الأبعاد، فإن أحجيةَ سودوكو شبكةٌ مستوية مربَّعةُ الشكل تحوي، نموذجيا، 81 خلية (تسعة أسطر وتسعة أعمدة)، ثم إنها مقسمة إلى تسعة مربعات جزئية، يتضمن كل منها تسع خلايا. سنسمّيها **شبكات جزئية** subgrids. وتبتدئ اللعبة بأعداد مطبوعة في بعض الخلايا. وعلى اللاعب ملء الخلايا الفارغة الأخرى بأعداد من 1 إلى 9، بحيث لا يظهر رقمٌ مرتين في نفس السطر أو العمود أو الشبكة الجزئية. ولكل أحجية حل وحيد.

ومع أن لعبة سودوكو لعبةُ أعداد، من المثير للعجب أنه لا يحتاج من يحاول حلها إلى أيِّ قدْر من الرياضيات. وفي الحقيقة، لا تساعد أيٌّ من العمليات الحسابية - من ضمنها الجمع أو الضرب - على إتمام شبكة ما، إذ إن كل ما هو مطلوب، نظريا، ملء الشبكة بأي مجموعة من تسعة رموز مختلفة (حروف، ألوان، أيقونات، وهلم جرا). ومع ذلك، تطرح سودوكو على الرياضياتيين وعلماء الحاسوب مجموعة من المسائل التي تتسم بالتحدي.

شجرة العائلة(**)

بيد أن ثمة شيئا صار معروفا؛ ألا وهو جذور اللعبة: فسلَفُ سودوكو، ليس كما يُظنّ على نطاق واسع، المربعَ السحريَّ - وهو مصفوفة تتصف بأن لجميع الأعداد الصحيحة، الموجودة في أيّ سطر وأيّ عمود وأيّ قطر من المصفوفة، المجموع نفسه. وفي الحقيقة، فإذا استثنينا الأعداد والشبكة، فلا وجود تقريبا لشيء يربط سودوكو بالمربع السحري - لكن ما هو وثيق الصلة بسودوكو هو المربع اللاتيني [*انظر الإطار في الصفحة 24*].

والمربعُ اللاتينيُّ من المرتبة(1) n هو مصفوفة مكونة من n^2 خلية (n خلية في كل جانب) مملوءة برموز عددها n، بحيث لا يظهر الرمز نفسه مرتين في السطر نفسه أو في العمود نفسه (وهكذا يُستعمل كل واحد من هذه الرموز n مرّة بالضبط). ويعود أصل هذه الشبكات إلى القرون الوسطى. وفي وقت لاحق، سمّاها عالم الرياضيات <ل. أولر> (1707-1783) المربعات اللاتينية، وانكبّ على دراستها.

تشبه لعبة سودوكو العادية مربعا لاتينيا من المرتبة التاسعة، ولا تختلف عنه إلاّ بمتطلب إضافي هو أن تحوي كلُّ شبكة جزئية الأعداد من 1 إلى 9. وكان الظهور الأول لهذه اللعبة في عدد الشهر 1979/5 من المجلة *Dell Pencil Puzzles and Word Games*. وفي بحث أجراه <W. شورتز> [المشرف على زاوية الكلمات المتقاطعة في مجلة *New York Times*] ذكر أن مبتكر هذه اللعبة هو مهندسٌ معماريٌ متقاعد اسمه <H. كارنز>. وقد مات <كارنز> في انديانابوليس - والروايات مختلفة في تاريخ وفاته، إذ إن بعضها يذكر أنه توفي عام 1989 وبعضها الآخر عام 1981 - وحدثت وفاته قبل أن يشهد النجاح العالميَّ لاكتشافه بمدة طويلة.

وقد انتقلت اللعبةُ، التي نُشرتْ في المجلة *Dell* بعنوان «موقع عدد»(2)، إلى مجلة يابانية عام 1984، أطلقت عليها، في النهاية، اسم «سودوكو» Sudoku، الذي هو ترجمة غير دقيقة لـ «أعداد مفردة»(3). هذا وقد أدخلت المجلة الاسمَ «سودوكو» في سجل العلامات التجارية، لكنّ محبي التقليد في اليابان أطلقوا عليها اسم «موقع العدد». بعد ذلك، وفي مفارقة أخرى تتصل بسودوكو، سمّى اليابانيون الأحجية باسمها الإنكليزي، وأطلق عليها المتكلمون بالإنكليزية اسمها الياباني.

وتعزو سودوكو الفضل في نجاحها

(*) THE SCIENCE BEHIND SUDOKU

(**) Family Tree

(***) Overview: Scientific Sudoku

(1) Latin square

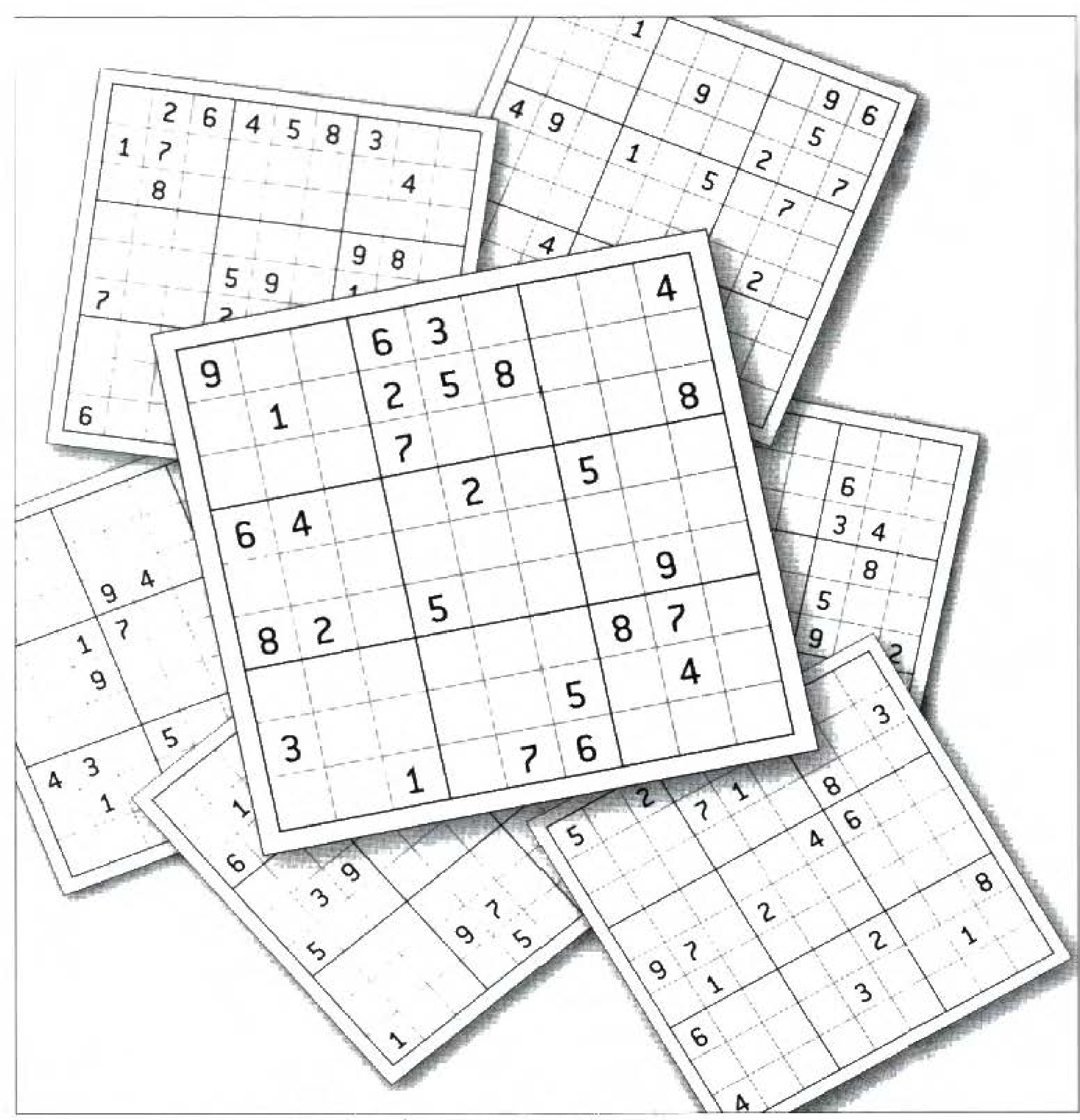
(2) order

(3) number place

(4) single numbers

نظرة إجمالية/ الجانب العلمي في لعبة سودوكو(***)

- سودوكو هي أكثر من مجرد لعبة منطق مسلّية، فهي، إضافة إلى ذلك، تطرح على الرياضياتيين مجموعة واسعة من المسائل العميقة.
- تتضمن هذه المسائل ما يلي: كم شبكة سودوكو يمكن تكوينها؟ ما هو أصغر قدر من أعداد البدء التي تسمح بحل وحيد؟ هل تنتمي سودوكو إلى صنف المسائل الصعبة التي يُطلق عليها اسم المسائل التامة NP؟
- توصل خبراء الأحجيات إلى مجموعة من الأساليب تساعد على حل أحجيات سودوكو وإلى أشكال مختلفة مسلية من هذه اللعبة.



إن التحدي الذي يواجهك هو إدخال عدد يقع بين 1 و 9 في كل خلية، دون أن تكرِّر أيا من هذه الأرقام في نفس السطر أو العمود أو الشبكة الجزئية (المربع 3×3). إن حلول أحجية سودوكو المتوسطة الصعوبة، المعروضة في وسط *هذه الصفحة*، وكذلك حلول الأحجيات الأخرى الواردة في هذه المقالة، موجودة في الموقع www.sciam.com. وفيه أيضا أحجيات إضافية.

اللاحق إلى «W. كولد» - وهو قاضٍ متقاعد من هونك كونك يهوى المشي والتجوال - كان اطَّلع على اللعبة مصادفة خلال زيارة قام بها إلى اليابان عام 1997. وكتب برنامجا حاسوبيا يولِّد شبكات سودوكو بطريقة آلية، وفي أواخر عام 2004 قبلت صحيفة *التايمز* اللندنية اقتراحه بنشر أحجيات فيها. وفي الشهر 2005/1، حذت صحيفة *Daily Telegraph* حذوها. ومنذ ذلك الحين شرعت عدة دستات من الصحف اليوميَّة، التي تصدر في جميع أنحاء العالم، في نشر هذه اللعبة. حتى إن بعض الصحف صار يشير إليها على صفحة غلافها لتعزيز ترويجها. وقد برزت مجلات وكتب مخصصة لهذه الأحجية المسلية، وخُصِّصت لها مسابقات ومواقع على الوب Web.

شبكات بعدد الكائنات البشرية(*)

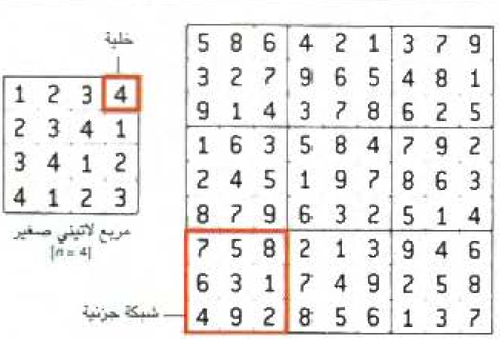
لم يتأخر الرياضياتيون بالشروع في طرح مسألة «كم عدد»(1) شبكات لعبة سودوكو. فمثلا، طرحوا بسرعة السؤال عن عدد الشبكات المملوءة بطريقة صحيحة، وسموها «شبكات الحل»(2). وبالطبع، فإن هذا العدد يجب أن يكون أصغر من عدد المربعات اللاتينية، وذلك بسبب التقييدات الإضافية المفروضة على الشبكات الجزئيَّة.

يوجد 12 مربعا لاتينيا فقط من المرتبة 3 و 576 من المرتبة 4، لكنْ هناك

(*) As Many Grids as Humans
(1) how many
(2) solution grids

أسلاف اللعبة سودوكو(*)

شبكة سودوكو هي نوع خاص من المربع اللاتيني. المربعات اللاتينية ـ التي أطلق عليها اسمها «ل. أولر» [أحدُ كبار علماء رياضيات القرن الثامن عشر] ـ هي مصفوفات nxn مملوءة بـ n عددا مختلفا، بحيث لا يظهر العدد نفسه مرتين في السطر نفسه أو العمود نفسه. والمربعان المعروضان هما مثالان على ذلك. وشبكة سودوكو المكمّلة المألوفة [التي تسمى، أيضا، شبكة حل] هي مربع لاتيني9x9 يحقق شرطا إضافيا، هو أن يحوي كلٌّ من شبكاته الجزئية التسع الأرقام من 1 إلى 9.



مربع لاتيني، يمثل أيضا شبكة سودوكو مُكمَّلة [n = 9]

«ليونارد أولر»

5.524.751.496.156.842.531.225.600 مربع لاتيني من المرتبة 9. إلا أن نظرية الزمر(1) تنص على أن الشبكة التي يمكن اشتقاقها من أخرى هي مكافئة للشبكة الأصلية. فعلى سبيل المثال، إذا قُمتَ منهجيا بالاستعاضة عن كل عدد بعدد آخر (مثلا: 1 أصبح 2 و2 أصبح 7، وهكذا)، أو إذا بادلت بين سطرين أو عمودين، فإن النتائج النهائية ستكون بالضرورة نفسها. لذا فإذا أحصينا الصيغ المختزلة فقط، أصبح عدد المربعات اللاتينية من المرتبة التاسعة مساويا 377.597.570.964.258.816. وهذه نتيجة وردت عام 1975 في كتاب *Discrete Mathematics* الذي ألفه «S. E. بامل» و«J. روثستاين» [اللذان كانا حينذاك في جامعة أوهايو الحكومية].

أما تحديد عدد شبكات سودوكو الممكن تشكيلها، فمسألة يصعب جدا حلها. وفي هذه الأيام، فإن الاقتصار على استعمال المنطق (لتبسيط المسألة) والحواسيب (لتفحص الإمكانات بطريقة منهجية)، يسمح بتقدير عدد شبكات حل سودوكو الصحيحة وهو 6.670.903.752.021.072.936.960. ويتضمن هذا العدد جميع تلك الشبكات التي اشتُقّت من أي شبكة خاصة باستعمال العمليات الابتدائية. هذا وإن صحة هذه النتيجة ـ التي توصّل إليها «B. فلكنهاور» [من جامعة درسدن التقنية بألمانيا] و«F. جارفيس» [من جامعة شفيلد بإنكلترا] جرى تحقّقها عدة مرات. (التحقق مهم في الحالات التي يجري الحصول فيها على النتائج بهذه الطريقة.)

وإذا أحصينا مرة واحدة فقط تلك الشبكات التي يمكن اختزالها إلى تشكيلات متكافئة(2) تقلّص عددُها إلى 5.472.730.538، وهذا عدد أصغر قليلا من عدد سكان الأرض. وعلى الرغم من هذا الانخفاض، فمازال العدد كبيرا، وعلى المتحمسين لسودوكو ألاّ يخشوا أي نقص في الأحجيات.

لاحظ أنه يمكن التوصل إلى حلٍّ كامل لسودوكو بأكثر من طريقة أيا كانت شبكة البدء (أي الشبكة غير الكاملة التي لها حل كامل مفروض). ولم يفلح أحدٌ حتى الآن في تحديد عدد شبكات البدء المختلفة. يضاف إلى ذلك أن شبكة البدء في سودوكو لا تثير حقا اهتماما رياضياتيا إلا إذا كانت **أصغرية** minimal ـ أي إذا كان حذف عدد واحد يعني أن الحل لم يعد وحيدا. هذا ولم يستطع أحد حتى الآن تعيين عدد الشبكات الأصغرية الممكنة، الذي قد يرقى إلى العدد الإجمالي لأحجيات سودوكو المختلفة. ويمثل تعيين هذا العدد تحديا من المؤكد التصدي له في المستقبل القريب.

ثمة مسألة أخرى تتعلق **بالأصغرية** minimality لم تحلّ أيضا بعد، ألا وهي: ما هو أصغر عدد من الأرقام التي يمكن لمصمم أحجية وضْعها في شبكة بدء، ويضمن مع ذلك، حلا وحيدا لها؟ يبدو أن الجواب هو 17. فقد جمع «G. رويل» [من جامعة ويسترن ـ أستراليا] أكثر من 38 000 مثال يحقق هذا الشرط، بحيث لا يمكن الانتقال من واحد منها إلى آخر بإجراء العمليات الأولية.

وحاليا، يُجري «G. ماك كوير» [من جامعة إيرلندا الوطنية في ماي نوث] بحثا عن أحجية شبكةُ بدئها تحوي 16 عددا ولها حل وحيد، لكنْ حتى الآن لم يوفّق في مساعيه. ومن ناحية أخرى، تمكّن رويل وآخرون، يعمل كل منهم بمعزل عن الآخر، من إيجاد أحجية واحدة شبكة بدئها تحوي 16 عددا ولها حلان اثنان. ولم يعثر الباحثون حتى الآن على أمثلة إضافية.

تُرى، هل ثمة أحد قريب من البرهان على عدم وجود أحجية سودوكو صحيحة شبكة بدئها تحوي 16 عددا فقط؟ يجيب «ماك كوير» عن هذا السؤال بقوله: «لا». وهو يلاحظ أنه لو تمكّنا من تحليل شبكة واحدة كلَّ ثانية بحثا عن أحجية صحيحة شبكةُ بدئها تحوي 16 عددا، «فبمقدورنا إنجاز هذا العمل في 173 سنة. ولسوء الحظ، فما نزال غير قادرين على هذا العمل، حتى لو استعنَّا بحاسوب سريع.» ويضيف: «قريبا، ربما يكون بالإمكان البحث في شبكة واحدة خلال دقيقة واحدة بالاستعانة بحاسوب قوي، لكن إجراء المحاولة بهذه السرعة يستغرق 10 380 سنة»؛ ثم يقول: «حتى لو وزعنا العمل على 10 000 حاسوب، لتطلّب إنجازه نحو سنة. لذا نحن بحاجة إلى تقدم هائل بحيث نجعل البحث في جميع هذه الشبكات شيئا مقبولا. فما نحتاج إليه إما تصغير فضاء البحث، وإما إيجاد خوارزمية للبحث أفضل بكثير.»

إن الرياضياتيين يعرفون فعلا حلَّ عكس مسألة تحديد التعداد الأصغري لأعداد شبكة البدء، أي الإجابة عن السؤال: ما هو أكبر تعداد لأعداد شبكة البدء لا يضمن حلا وحيدا؟ الجواب هو 77. فبتعدادات مثل: 80، 79 أو 78 لمجموعات شبكات البدء، إذا وُجد حل، كان هذا الحل وحيدا. لكن هذا لا يمكن تأكيده عندما يكون تعداد الأعداد المفروضة 77 [انظر الإطار *في أسفل الصفحة 28*].

(*) Sudoku's Predecessors

(1) group theory

(2) أي إذا أحصينا عدد صفوف تكافؤ مجموعة الشبكات. (التحرير)

الحل بالاستعانة بالحواسيب[*]

إضافة إلى الأسئلة المتعلقة بالتعداد، يفكر علماء الرياضيات والحاسوب مليًا فيما تَقْدِر ولا تَقْدِر، على فعله الحواسيب عندما يتعلق الأمر بحل أحجيات سودوكو أو توليدها. وفي أحجيات سودوكو المألوفة (9x9)، من السهل نسبيا كتابة برامج حاسوبية لحلّ جميع شبكات البدء الصحيحة.

يمكن للبرامج الحاسوبية استعمال عدة أساليب، لكن أكثرها انتشارا هو **النهج المعاكس** backtracking، وهو صيغة منهجية لطريقة المحاولة والخطأ، تسمح باقتراح حلول جزئية، ثم القيام بإجراء تعديلات طفيفة عليها حال اكتشاف خطأ هذه الحلول.

مسألة أخرى: ما هو أصغر عدد من الأرقام التي يمكن وضعها في شبكة بدءٍ بحيث يكون الحل وحيدا؟

وطريقة عمل الخوارزمية الأساسية للنهج المعاكس هي كما يلي: يضع البرنامجُ العدد 1 في أول خلية فارغة. فإذا كان هذا الخيار منسجما مع الأعداد الموجودة في الشبكة، انتقل إلى الخلية الفارغة الثانية التي يضع فيها العدد 1. وعندما يواجه **تعارضا** conflict (وهو ما يمكن حدوثه بسرعة كبيرة)، يمحو العددَ 1 الذي وضعه أخيرا، ويجرب 2 أو 3 إذا واجه 2 تعارضا، وهكذا. وبعد وضع أول عدد ممكن (لا يواجه تعارضا)، ينتقل البرنامج إلى الخلية التالية، ويبدأ ثانية بالعدد 1.

وإذا كان العدد الذي يتعين تغييره 9 (وهو عدد لا يمكن أن يضاف إليه 1 في شبكات سودوكو المألوفة 9x9)، فإن البرنامج يقوم بالنهج المعاكس ويزيدُ العددَ الموجود في الخلية السابقة (التي تلي آخر عدد جرى وضعه) واحداً. بعد ذلك يتقدم البرنامج إلى الأمام إلى أن يواجه تعارضا. (أحيانا، يتبع البرنامج نهجا معاكسا عدة مرات قبل التقدم إلى الأمام.) وفي برنامج مكتوب جيدا، يستكشف هذا الأسلوب جميع الفرضيات الممكنة، وينتهي بالعثور على الحل، إن وُجِد حل فعلا. وإذا كانت هناك عدة حلول، كما يحدث في أحجية مغلوطة، فإن البرنامج يجدها جميعا.

وبالطبع، فإن التحسينات ممكنة، وهي تُسرّعُ اكتشافَ الحلِّ الوحيد. ويسمّى أحد التحسينات المفضّلة «التوليد المقيد»، الذي يعني أنه بعد وضع كل عدد جديد، يولِّد البرنامجُ قائمة بالأعداد الممكنة المتبقية في كل خلية فارغة، ولا يتعامل إلاّ مع الأعداد الواردة في القائمة.

يمكن **تكويد** encode تقنيات النهج المعاكس ببرنامج حلول قصيرة إلى حد ما. وفي الحقيقة، كُتِبَتْ برامجُ مختصرة للعبة سودوكو في Prolog، وهي لغة حاسوبيّة تَستعمل خوارزميّةَ نهج معاكس. وقد ابتكرت هذه اللغة في أواخر السبعينات بجامعة مارسيليا في فرنسا.

وفيما يتعلق بلاعبي سودوكو، فإن تقنيات النهج المعاكس، التي تطبقها البرامج الحاسوبية، غير عملية؛ لأنها تستلزم صبرا استثنائيا. لذا يَستعمل الناس قواعدَ أكثر تنوعا وبراعة، وهي أقرب ما تكون إلى أسلوب المحاولة والخطأ كملاذ أخير. وتحاول بعض البرامج تقليدَ الطرائق التي يسلكها الناسُ إلى حد ما؛ فمع أنها أطول

(*) Computer Solvers

(**) How Low Can You Go?

ما هو مقدار التخفيض الذي يمكنك تحقيقه؟[**]

يبدو أن أصغر عدد من الرموز التي يمكن لأحجية سودوكو 9x9 البدء بها، والتي توفر شبكةَ حل وحيدة، هو 17. ونبيِّن أدناه مثالا على ذلك. وإحدى الشبكات الخاصة المطلوبة، التي ينعتها هواة سودوكو بأنها **مألوفة بصورة مستغربة** Strangely Familiar (SF). تخفي 29 رقعة غير متكافئة، على كل منها 17 رمزا (عددا) ابتدائيا ـ وهذا عدد كَبْرَةٌ غير عادي. وقد اعتُبرتْ الشبكات SF في وقت سابق أنها أكثر الشبكات احتمالا لتصميم أحجية ذات 16 رمزا ابتدائيا، ولها حل وحيد، لكنّ بحثا مستفيضا عنها خيَّبَ هذا الأمل. ونبيِّن أدناه أحجية سودوكو الوحيدة التي تنطلق من 16 رمزا (عددا)، والتي لها حلان فقط. ونرى في الشبكات الجزئية النهائية تبادلا بين الأعداد 8 والأعداد 9

شبكة مألوفة بصورة مستغربة

6	3	9	2	4	1	7	8	5
2	8	4	7	6	5	1	9	3
5	1	7	9	8	3	6	2	4
1	2	3	8	5	7	9	4	6
7	9	6	4	3	2	8	5	1
4	5	8	6	1	9	2	3	7
3	4	2	1	7	8	5	6	9
8	6	1	5	9	4	3	7	2
9	7	5	3	2	6	4	1	8

أحجية عدد رموزها الابتدائية 17

	1							9
			3			8		
						6		
				1	2	4		
7		3						
5								
8			6					
				4			2	
			7				5	

أحجية عدد رموزها الابتدائية 16

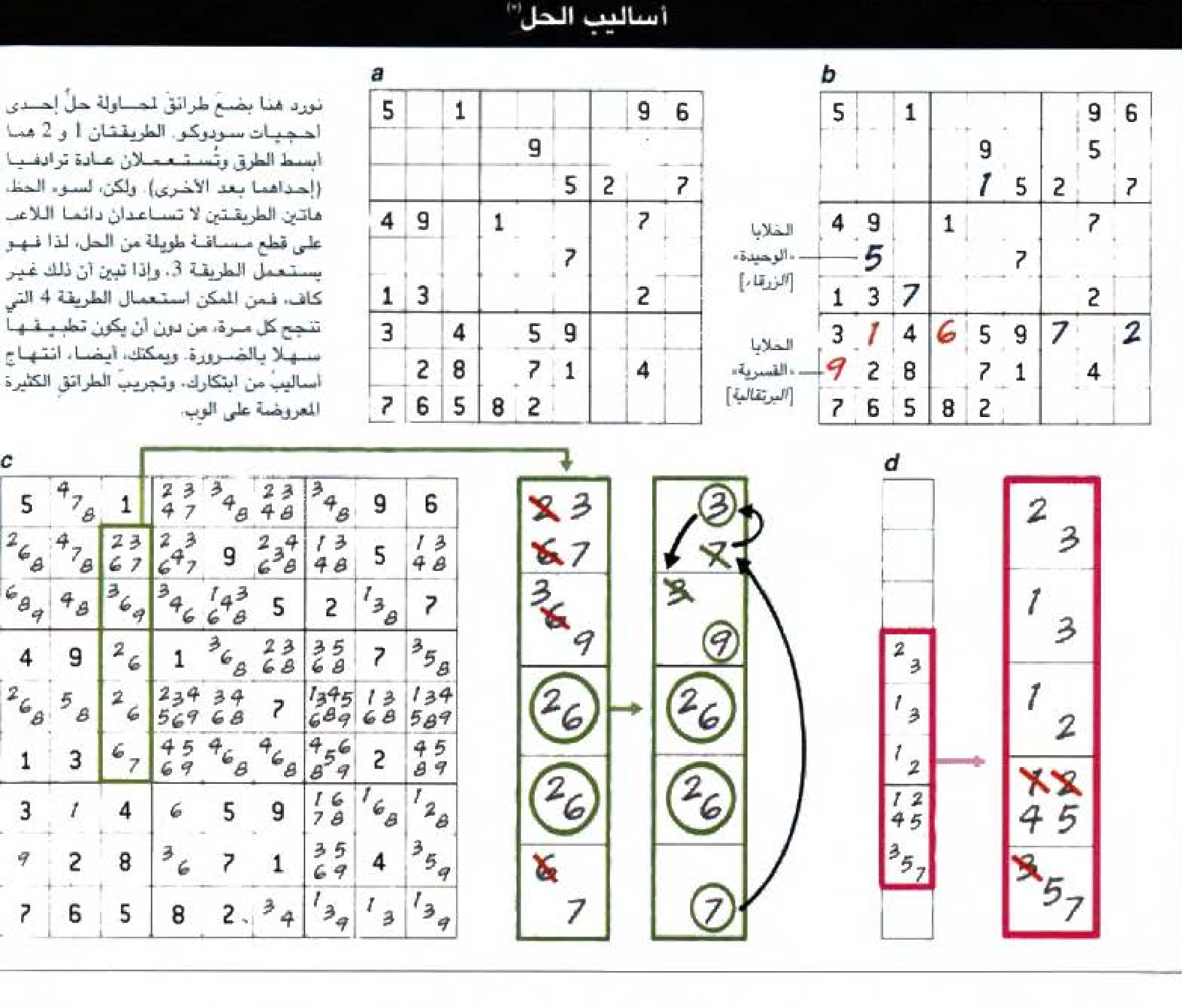
5		2				4		
			7	1				3
					4	6		
	7		2					
	1							
6					2			
				3			1	
4								

... ولها حلان

5	6	2	3	8/9	9/8	4	7	1
8/9	4	9/8	7	1	6	2	5	3
1	3	7	4	2	5	8/9	9/8	6
3	5	8/9	1	9/8	4	6	2	7
9/8	7	4	2	6	3	1	8/9	5
2	1	6	8/9	5	7	3	4	9/8
6	9/8	1	5	4	2	7	3	8/9
7	2	5	6	3	8/9	9/8	1	4
4	8/9	3	9/8	7	1	5	6	2

أساليب الحل[*]

نورد هنا بضعَ طرائقَ لمحاولة حلِّ إحدى احجيات سودوكو. الطريقتان 1 و 2 هما ابسط الطرق وتُستعملان عادة ترادفيا (إحداهما بعد الأخرى). ولكن، لسوء الحظ، هاتين الطريقتين لا تساعدان دائما اللاعب على قطع مسافة طويلة من الحل، لذا فهو يستعمل الطريقة 3. وإذا تبين أن ذلك غير كاف، فمن الممكن استعمال الطريقة 4 التي تنجح كل مرة، من دون أن يكون تطبيقها سهلا بالضرورة. ويمكنك، أيضا، انتهاج أساليبَ من ابتكارك، وتجريبُ الطرائق الكثيرة المعروضة على الوب.



من البرامج الأخرى، لكنها تعمل بنفس مستوى جودتها. هذا وإن البرامج التي تحاكي التفكير البشري مفيدة أيضا لتقييم تعقيد شبكاتِ البدء، التي تتدرج صعوبتها من شبكات «سهلة» (لا تتطلب سوى تكتيكات بسيطة)، إلى ما يُطلق عليها كثير من الناس اسمَ الشبكات «الشيطانية»[1] (بسبب حاجتها إلى تطبيق قواعد منطقية تُجهد أذهان مستعمليها).

إحدى الطرق التي يفكر في اتباعها علماء الحاسوب لحل أحجية سودوكو هي النظر إليها **كمسألة تلوين بيان**[2] graph-coloring problem، حيث لا يمكن أن يكون فيها لخليتين متجاورتين (تسميان أحيانا «راسين مشتركين بحافة») اللون نفسه، والتي يكون فيها عدد الألوان المتاحة تسعة ويحتوي الرسم، في هذه الحالة، على 81 **راسا** vertex، بعضها ملون بداية. إن مسألة التلوين هي في واقع الأمر معقدة جدا لأن لكل شبكة 9x9 مئات من **الحافات** edges. فكل خلية هي جزء من سطر يحتوي ثمانيَ خلايا أخرى، ومن عمود يضم ثمانيَ خلايا أيضا، ومن شبكة جزئيَّة تضمّ ثمانيَ خلايا (أربعة منها سبق حسابها في سطر الخلية وعمودها) لذا فإن كل خلية من الخلايا الإحدى والثمانين ترتبط بعشرين (8+8+4) خلية أخرى، وهذا يكوّن مجموعا ضخما من الخلايا قدره 1620 (أي 20 مضروبا في 81) خلية تشترك بحافة مع أحد جيرانها ـ وهذا يعني، بدوره، أن العدد الإجمالي للحافات هو 810 (أي 1620 مقسوما على 2).

وإمكان تحويل أحجيات لعبة سودوكو إلى مسألة تلوين، له دلالة عند العلماء، لأن هذه السِّمة تربط هذه الأحجيات بنوع من المسائل المهمة، ولا سيما فقد أثبت حديثا «T. ياتو» و «T. سيتا» [من جامعة طوكيو] أن أحجية سودوكو تنتمي إلى طائفة المسائل التامة NP[3]، وهي من المسائل التي يُحتَمل أن يستحيل حلّها في إطارٍ زمنيٍّ واقعيٍّ. ومن الأمثلة المشهورة عليها مسألة الألوان الثلاثة التي تدرس ما إذا كان بالإمكان تظليل كلِّ **عقدة** node في بيان[2] بثلاثة ألوان، بحيث لا يكون لأي عقدتين مشتركتين بحافة واحدة اللون نفسه. وفي حالة سودوكو، من الواضح أن التحدي المستحيل هو تصميم برنامج فعّال يسمح بحلّ أحجية سودوكو من جميع الحجوم ـ أي عندما تكون الشبكة من الحجم $n^2 \times n^2$، من دون أن تكون مقصورة على

(*) Solution Methods

(1) disbolical

(2) graph أو مِبيان، وهو بنية بيانات لها عدد من العقد nodes وعدد من الحافات edges تربط أزواجا من هذه العقد.

(3) NP-complete problems. انظر: «حدود البحث عن سبب»، **العلوم**، العددان 4/3 (2006)، ص 11.

الطريقة 1
الخلية «القسرية»

[...]رس هذا الأسلوب طريقة ملء خلية (بعدد) [...]ستبعادك الأعداد الموجودة في سطر الخلية [...]مودها وخليتها الجزئية. فترى ما إذا تبقّى [...]حتمال واحد فقط. ويبيّن مثل هذا التحليل للشبكة a [...] الصناديق الحاوية أعدادا برتقالية اللون في [...]شبكة b هي خلايا «قسرية».

الطريقة 2
الخلية «الوحيدة»

هنا يكون تركيزنا على قيمة مفروضة ولتكن، مثلا، العدد 5. العمودان واحد وثلاثة في الشبكة a يحويان خَمْسَتَيْنِ، لكنّ العمود الثاني لا يحوي 5 حتى الآن. تُرى، أين يجب أن تكون الخمسة في ذلك العمود؟ لن توجد في الخلايا الثلاثة الأولى من العمود الثاني، لأنها موجودة في شبكة جزئية تحوي 5. ولن توجد في الخلية السابعة من هذا العمود، لأن شبكتها الجزئية تحوي 5 أيضا. لذا فإن العدد 5 في العمود الثاني يجب أن يوجد إما في الخلية الرابعة أو الخامسة أو السادسة منه. ولما كانت الخلية الخامسة فقط هي الفارغة فيه، فإن هذا العدد يجب أن يوضع فيها. وهكذا فإن الخلايا المعلّمة بالأعداد الزرقاء في الشبكة b هي الخلايا «الوحيدة».

الطريقة 3
[...]سيط مدى الإمكانات

[...]ـذه تقنيةٌ فعّالة جدا، لكنّها تتطلّب قلما وممحاة: في كلّ خلية، اكتبْ جميعَ الحلول الممكنة بخطٍّ صغيرٍ جدا، أو [...]ستعملْ نقاطا تمثل مواقعُها الأعدادَ من 1 إلى 9. طبِّق بعد ذلك المنطقَ لمحاولة حذف الخيارات.

[...]ـمثلا، تُبيِّن الشبكة c كيف تبدو الشبكة a إذا عُلِّمَتْ من دون تفكير، من دون أن تُطَبِّقَ أولا الطريقتان 1 و 2. في [...]عمود الثالث، يكون ترتيبُ إمكانات الخلايا الثانية والثالثة والرابعة والخامسة والسادسة، هو على التوالي: {7,6,3,2}، [...]، {2,6}، {2,6}، {7,6}. ويجب أن يحوي هذا العمود العدد 2 والعدد 6، لذا يجب أن يكون هذان العددان موجودين [...] الخليتين اللتين إمكاناتهما فقط العددان 2 و 6 الموجودان في الترتيب الأول {7,6,3,2}.

[...]ـذا فإن 2 و 6 لا يمكن أن يوجدا في أي مكان آخر في هذا العمود ويمكن استبعادهما من خلايا العمود [...]ـأخرى [الحمراء]. وهكذا يُبسَّطُ مدى الإمكانات لهذا العمود لتصبح {7,3}، {9,3}، {6,2}، {6,2}، {7}. لكن هذا [...]يس كل شيء. فتحديد موقع 7 يُملي بدوره موقعَ 3 وموقعَ 9 [الترتيب الثاني {9,3}]. والإمكانات الأخيرة هي: [...]، [...]، {6,2}، {6,2}، {7}. ويبقى ارتياب وحيد في معرفة أين يجب أن يكون موقعا 2 و 6

[...]ـالقاعدة العامة لتبسيط الإمكانات هي التالية: إذا وُجِدَتْ، ضمن مجموعة من الإمكانات [لسطر أو عمود [...] خلية جزئية]، m خلية تحتوي على مجموعة جزئية مؤلفة من m عددا فقط [لكن ليس من الضروري وجودها [...]ـميعا في كلّ خليّة]، فإن الأرقام الموجودة في المجموعة الجزئية يمكن استبعادها، بوصفها إمكانات، من [...]ـخلايا الأخرى في المجموعة التي هي أكبر منها. وعلى سبيل المثال، يمكن في d تبسيط الترتيب {3,2} ، {3,1}، [...]{5,4,2} ليصبح {3,2}، {3,1}، {2,1}، {5,4}، {7,5} لأن الخلايا {3,2}، {3,1}، {2,1} تُنْتِجُ جميعُها من المجموعة [...]ـجزئية {3,2,1} وليس فيها أعداد أخرى.

الطريقة 4
طريقة المحاولة والخطأ

بتطبيق الطرائق 1، 2، 3 يُمكن حل كثيرٍ من شبكات سودوكو. لكن شبكات سودوكو من المستوى الشيطاني، تتطلب غالبا جولة من المحاولة والخطأ. وحين يستمر الارتياب، فإنك تقوم باختيارٍ عشوائيٍ، وتطبِّقُ استراتيجياتك كما لو كانت هي القرار الصحيحَ. فإذا اصطدمْتَ باستحالة [كَأنْ تصلَ إلى عددين متطابقيْنِ في عمود واحد]، كان اختيارُك غيرَ سليم. فمثلا، قد تجرِّبُ 2 في الخلية الرابعة من العمود الثالث في الشبكة c. فإذا لم ينجح، بَدَأْتَ ثانية من نقطة البدء نفسها، لكنْ بتجربة العدد 6 في تلك الخلية.

ولسوء الحظ، يتعيّن عليك أحيانا القيامُ بعدة جولات من المحاولة والخطأ، وعليك أن تكون مستعدا لتطبيقِ النهجِ المعاكس إذا كان تخمينُك غيرَ صحيحٍ. وفي الحقيقة، فإنّ الفكرة الكامنة في طريقة المحاولة والخطأ، هي الفكرة نفسها التي تستعملُها خوارزمياتُ النهج المعاكس، التي يمكن للحواسيب تطبيقُها بسهولة، لكنها تسبب إرهاقا لأدمغة الناس. ومن المثير للعجب أن تكونَ الطرائقُ، التي أثبتت أنها أكثر الطرائق فعالية لآلة، هي الأقلَ فعاليةً للكائنات البشرية.

الحجم المألوف (9×9) $3^2 \times 3^2$. ومن المرجح أن لن ينجح أيُ برنامجٍ لحلِّ هذه الأحجيات نجاحا حقيقيًا، لأن الزمن اللازم لإيجاد الحل يتزايد تزايدا دراميا مع تزايد n

وإذا كان لديك خوارزمية تحلُّ أحجيات سودوكو المعهودة، فيمكنك استعمالها للحصول على خوارزمية لتصميم تلك الأحجيات المتعلقة بسودوكو من جميع الحجوم. وفي الحقيقة، فمع أن الأحجيات كانت تُصمَّمُ في بدايات عهدها يدويًا، فإن جميعها تقريبا يُنَفَّذ في هذه الأيام ببرامج حاسوبية استنادا إلى الطريقة التالية أو إلى ما يشبهها. توضع الأعداد عشوائيا على رقعة الشبكة وتُطبِّق خوارزميةُ حلٍّ (النهج المعاكس، مثلا) فإذا كان للأحجية حل وحيد، توقف البرنامج. وإذا لم يكن للمسألة المكمِّلة جزئيًا حلٌ، حُذِفَ عددٌ واحد من التشكيل الابتدائي، واستُهِلَ البرنامجُ ثانية وإذا كان للأحجية حلول مختلفة، اختير أحدُها، وعندئذ تضيف الخوارزميةُ القدرَ اللازمَ من الأعداد إلى أعداد البدء للتوثق من وحدانية الحل المختار.

استراتيجيات بشرية(*)

يمكن للهواة الذين يستمتعون بحل أحجيات سودوكو يدويًا أن يختاروا من بين الكثير من التكتيكات، بيد أن ثمة أسلوبين أساسيين يوفران نقطة بدء مقبولة. أولهما البحث عن أكثر الخلايا الفارغة تقييدا. وهي تلك التي تنتمي إلى سطر مملوء جيدا أو عمود مملوء جيدا أو شبكة جزئية مملوءة جيدا. وأحيانا، يقودك حذف المستحيلات (الأعداد التي تملأ الخلايا في نفس السطر أو العمود أو الشبكة الجزئية) إلى اكتشاف العدد الوحيد الملائم لخلية معينة. وعلى أيِّ حال، يجب أن يسهمَ هذا الأسلوبُ في تضييقٍ شديد للخيارات.

الأسلوب الثاني هو البحث عن المكان الملائم لقيمة مفروضة في عمود معيّن أو سطر معيّن أو شبكة جزئية معينة (مثلا، ابْحثْ عن الأمكنة الوحيدة التي قد تكون ملائمة للعدد 3 في السطر الرابع). وأحيانا، يكون لهذا البحث إجابة وحيدة ممكنة وفي أحيان أخرى. فإن مجرد معرفة

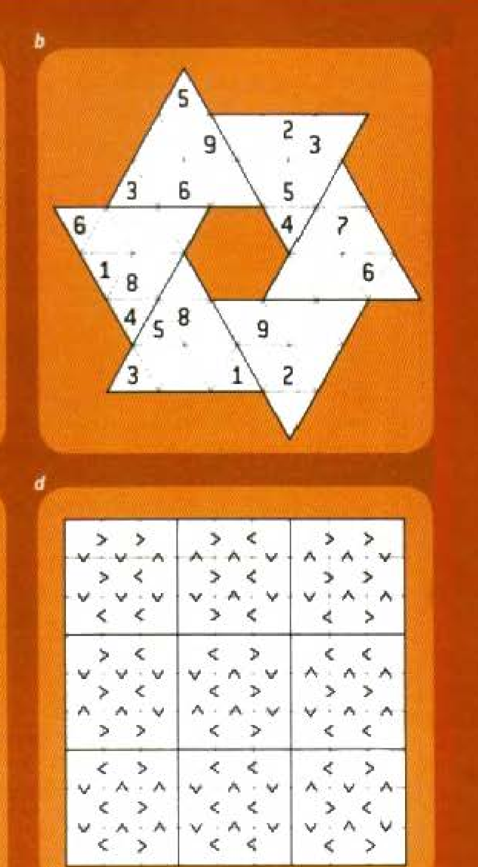
(*) Human Strategies

يمكن تحويل أحجيات لعبة سودوكو إلى مسألة تلوين تربط هذه اللعبة بنوع من المسائل الرياضياتية المهمة.

تغيرات في أحد المواضيع[*]

هل ثمة حاجة إلى شيء أكثر من شبكات شيطانية؟ في الأحجيات الواردة هنا يمكن تطبيق القواعد العادية، مع بعض التغييرات. ففي a تحلّ حروف الكلمتين GRAND TIME محلّ الأعداد، ويُستعاض عن الشبكات الجزئية المربعة بأشكال هندسية أخرى. مبتكر هذه الشبكة يسميها أحجية Du-Sum-Oh.

وفي b، التي تحوي ست شبكات جزئية مثلثة الشكل، من الممكن تقاطع الأسطر والأعمدة المائلة في مركز الشكل، ثم إنه عندما يكون لسطر أو عمود ثماني خلايا فقط تقوم الخلية القريبة، التي تشكل رأسا «للنجمة»، مقام الخلية التاسعة. وفي c يكون للأعداد الثلاثة في الأسطر المعلّمة (بإشارتي + ، =) في الشبكتين الجزئيتين مجموع يساوي العدد الموجود في الشبكة الجزئية الثالثة. وفي d، تدل إشارتا «أكبر من» و «أصغر من» على المواقع التي تنتمي إليها الأرقام. وفي e، يجب وضع أحجار الدومينو الموجودة في الأسفل في الأمكنة الفارغة. وفي f، تتراكب ثلاث رقع للّعب بعضها على بعض. وللاطلاع على الحلول ومزيد من اللّعب، قم بزيارة للموقع www.sciam.com



أنّ العددَ 3 ليس ملائما إلاّ لموقعين معينين أو ثلاثة مواقع، هي معرفة مفيدة. ولمزيد من التفصيلات، انظر الإطار في الصفحتين 26 و 27. أيضا، قم بزيارة المواقع على الوب المدرجة في «مراجع للاستزادة» للعثور على عدد من الاستراتيجيات لبعضها أسماء مثيرة مثل swordfish (سمك سيف البحر) و golden chain (السلسلة الذهبية).

وثمة عدد من البرامج الحاسوبية، التي يمكن العثور عليها بسهولة على الإنترنت. تولّد رُقعا ذات درجة محدّدة من الصعوبة، وتساعدك على إيجاد الحلول (ولكن، بالطبع، من دون أن تَحُلَّ الأحجيةَ التي تسعى لحلها!) فمثلا، يسمح لك بعضها بوضع علامات مؤقتة في الخلايا ومحوها، وهذا يجعل القلم والممحاة غير ضروريين. حتى أن بعضها الآخر يمكّنك من إيجاد روابط بين الخلايا. فلا تُغفل هذه البرامج الحاسوبية، إذ بإعفائها لك من بعض الممارسات المملّة، مثل المحو، فهي تحثّك على مزيد من التفكير العميق والبراعة الفنية الفائقة في لعبة المنطق هذه.

وحال شعورك بالضجر والملل من أحجيات لعبة سودوكو المعهودة، يمكنك

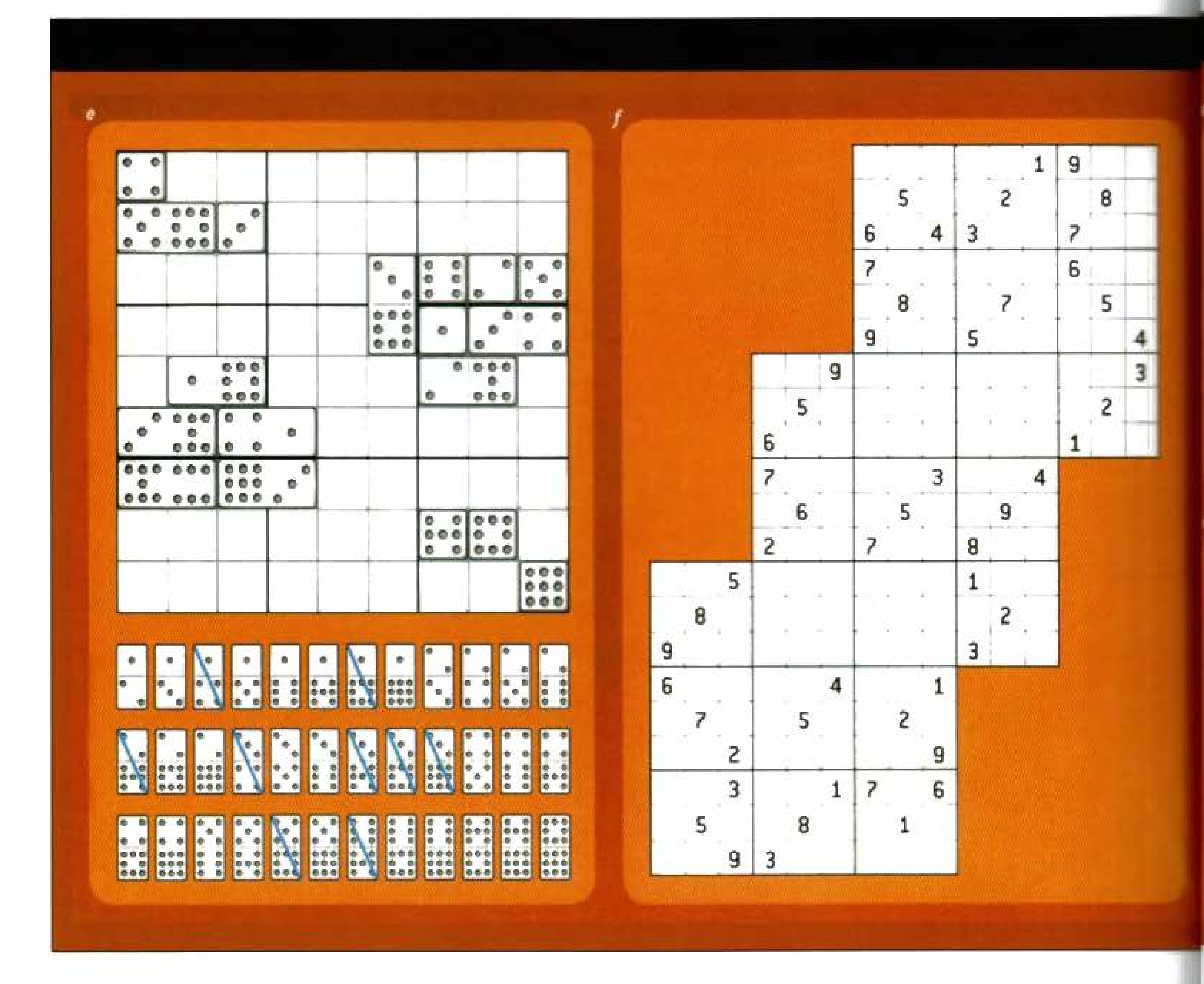
رموز قليلة جدا[**]

إن 77 رمزا لن تكفي بالضرورة لإيجاد حل وحيد. فمع وجود أربع فقط من الخلايا الفارغة فإن لهذه الشبكة حلين. هذا وإن العددين 1 و 2 غير الموجودين في أول عمودين من الشبكة قابلان للمبادلة.

		3	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	1	2	3
7	8	9	1	2	3	4	5	6
		4	3	9	8	5	6	7
8	6	5	2	7	1	3	9	4
9	3	7	6	4	5	8	1	2
3	4	1	8	6	2	9	7	5
5	7	2	9	1	4	6	3	8
6	9	8	5	3	7	2	4	1

1_2	2_1	3
4	5	6
7	8	9
2_1	1_2	4

(*) Variations on a Theme
(**) Too Few Clues



الانتقال إلى البحث عن أنماط مطوَّرة لهذه اللعبة لا تعدَ ولا تُحصى. بعضها يحوي عدة شبكات متراكبة، وبعضها الآخر يستعيض عن الشبكات الجزئية، التي هي مربعة، بأخرى لها أشكال مغايرة؛ ومنها ما يفرض تقييدات إضافية وستحظى هذه البدائل بإعجابك. ذلك أنها تجبرك على استكشاف استراتيجيات منطقيـــة جديدة. يُضاف إلى ذلك أن المتحمسين، الذين لا يُمضُون أكثر من ربع ساعة في حلْ أحجية معهودة، يقضون سحابة يومهم كلّه في الاستمتاع بجمع الخلايا والأعداد لإنشاء نماذج ضخمة من أحجيات سودوكو. والآن يكفي ما قيل، ولننتقل إلى الشبكة التالية! ■

(١) iterated prisoner's dilemma
(٢) complexity theory
(٣) Kolmogorov complexity

المؤلف

Jean - Paul Delahaye

أستاذ علوم الحاسوب في جامعة ليل للعلوم والتقانة بفرنسا، وباحث في مختبر ليل لعلوم الحاسوب (LIFL) التابع للمركز الوطني للأبحاث العلمية (CNRS). تتركز أبحاثه على نظرية اللُّعب الحاسوبية (مثل معضلة السجين المكررة[١])، نظرية التعقد[٢] (مثل التعقد الكولموكروفي[٣])، وتطبيقات هاتين النظريتين في التحليل الجيني، وحديثًا في علم الاقتصاد. وهذه المقالة هي تفصيل لمقالة نشرها ديلاهاي في عدد الشهر 2005/12 من مجلة Pour la Science، وهي الترجمة الفرنسية لمجلة ساينتيفيك أمريكان.

مراجع للاستزادة

1st World Sudoku Championship: www.wsc2006.com/eng/index.php
Math Games. Ed Pegg, Jr.: www.maa.org/editorial/mathgames/mathgames_09_05_05.html
The Mathematics of Su Doku. Sourendu Gupta: http://theory.tifr.res.in/~sgupta/sudoku/
Mathematics of Sudoku. Tom Davis: www.geometer.org/mathcircles
SadMan Software Sudoku techniques: www.simes.clara.co.uk/programs/sudokutechniques.htm
Sudoku, an overview: www.sudoku.com/howtosolve.htm
Sudoku, from Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Sudoku
A Variety of Sudoku Variants: www.sudoku.com/forums/viewtopic.php?t=995

Scientific American, June 2006

التغلب على مرض قاتل مفاجئ: أمهات الدم[*]

حينما شارفت سيدة شابة على الموت بسبب تمزق أم دم *aneurysm* لديها، بدأ الكاتب وزوج السيدة يبحثان عن طرق لإنقاذ مرضى أمهات الدم الآخرين من فاجعة قد تصيبهم.

‹د. A. الفتريادس›

كان أول سبت ربيعي جميل، وكنت فيه مسؤولا عن رعاية أطفالي. كنا خارج المنزل نستعرض المحلات القريبة من حديقتنا حينما اتصل بي ‹د. كوهن› [طبيب القلب الشهير وزميلي في جامعة ييل] وقد بدا مهتاجا جدا. أعرفه رجلا قليل الكلام، بيد أنه كان يتحدث بسرعة، وبطريقة تنم عن انفعال شديد وسمعته يقول: «أنا بحاجة إليك يا ‹جون› تعال إلى قسم الإسعاف. الآن الآن إنها تموت يا ‹جون› إنها تموت الآن أمامي.»

كانت الحالة شديدة الإيلام: وكان ‹كوهن› يتابع وضع السيدة منذ ثلاث سنوات حين أتى زوجها ليدرُس في جامعة ييل، وبذا أصبحت ‹د. كولمان› كأحد أعضاء الأسرة. كان عمرها 32 عاما وتعاني متلازمة مارفان Marfan[1]. وهي اضطراب في النسيج الضام يميل إلى أن يسبب أمهات الدم **الأبهرية** aortic الصدرية: وهي تضخمات خطرة في الجزء العلوي من الشريان الواسع الذي ينقل الدم من القلب، وينزل عابرا الصدر، ويصل إلى البطن. فإذا تُركت أمهات الدم دون علاج، فقد تكبر حتى تصل إلى **التمزق** rupture الذي يغلب أن يفضي إلى الموت. ويتمثل التدخل الوحيد في إجراء عملية وقائية يتم فيها وضع مكونات صنعية بدلا من المناطق المخربة. بيد أن لهذه الجراحة أخطارها الخاصة بها، ولذا يمتنع الأطباء عن اللجوء إليها إلى أن يحين وقت تبدو فيه ذات أهمية مطلقة. وبما أن الشريان الأبهر لدى ‹كارميلا› لم يكن قد توسع إلا قليلا، فإن ‹كوهن› لم ينصح باللجوء إلى الجراحة.

ومع ذلك، ففي صباح ذاك السبت حضرت ‹كارميلا› إلى قسم الطوارئ تشكو ألما شديدا في الصدر. وأظهر التصوير الطبقي المحوسب (CT) ومخطط صدى القلب **تسلخا** dissection أبهريا: لقد تسرب الدم عبر ثقب في الجزء الداخلي من جدار الشريان مسببا انفصال نصفه الداخلي عن نصفه الخارجي، وعلى امتداد الطول الكامل للوعاء الدموي. وقد يؤدي التسلخ وحده إلى الموت حينما يسبب تدفقا دمويا محصورا أو ممتدا: الأمر الذي يحرم القلب والأعضاء الأخرى من الأكسجين والغذيات الضرورية. ولكن هذا لم يكن أسوأ ما في قصة ‹كارميلا›. فلقد أشارت **التفاريس** scans إلى وجود دم في **التامور** pericardium لديها، وهو الكيس المحيط بالقلب. وهكذا فقد حصل التسلخ، وكانت تتحرك على غير هدى وقد فقدت وعيها، وهبط ضغطها. وأصيبت بصدمة وظهرت الحاجة إلى إجراء عملية فورا.

تركتُ الأطفال مع أحد الجيران واندفعت إلى المستشفى. وهناك استبدلنا بالجزء الضعيف من أبهر ‹كارميلا› وعاء صنعيا من الداكرون. وهو نسيج يحاك على شكل أنبوب مرن ولكنه متين. كما وضعنا صماما آليا بدلا من الصمام الأبهري المتضرر الذي يتحكم في تدفق الدم حين مغادرته القلب. وبدت ‹كارميلا› ضعيفة جدا عقب العملية الجراحية، ولكنها تمسكت بالحياة وتحسنت باطراد.

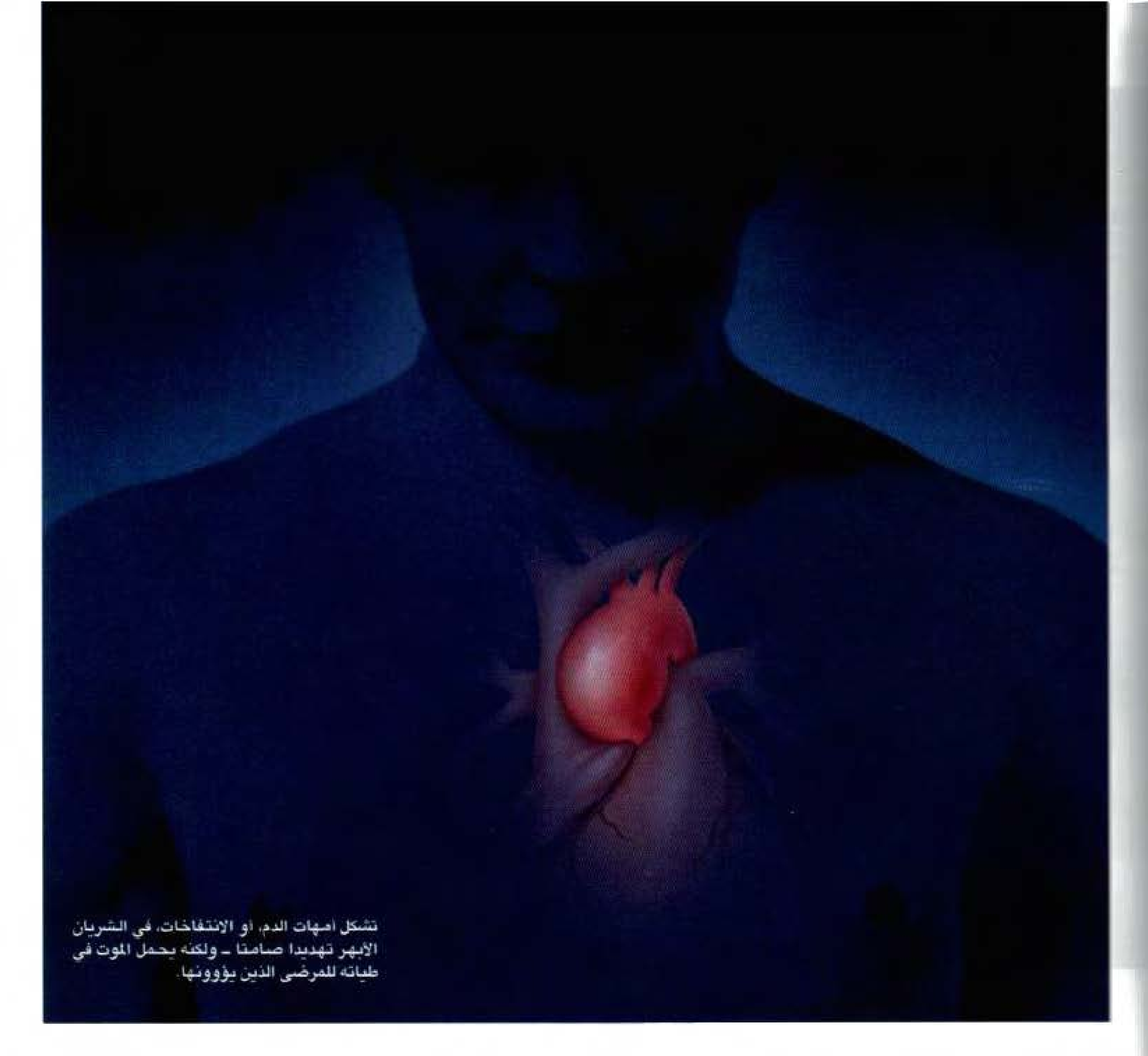
لقد تحدثت مع زوج كارميلا ‹د. بيزو› عن حالتها في جولاتي المسائية التي كنت أجريها كل ليلة. وحينما تحسن وضعها، وجدنا أن حوارنا يتحول نحو موضوعات علمية أكثر، وعلى وجه الخصوص المسائل المتعلقة بأمراض الشريان الأبهر.

وتبين أن ‹ريزو› كان اقتصاديا يعمل في قسم **الوبئيات** epidemiology في مدرسة الصحة العامة، وكان خبيرا في تحليل البيانات والإدارة. وقد أظهر اهتماما بالغا بعمل فريقي. وفي السنوات العشر الماضية ـ أي منذ بداية زيارات ‹كارميلا› إلى المستشفى ـ ساعدنا ‹ريزو› على تشكيل قاعدة بيانات تحوي سجلات مرضانا جميعهم المصابين بأمهات الدم الأبهرية الصدرية. ونتيجة لذلك، قمت وزملائي بحوسبة معلومات تخص أكثر من 3000 مريض مصاب بهذه الحالة، بما في ذلك نحو 9000 صورة و 9000 مريض ـ سنة من متابعة المرضى (حينما يجمع حاصل عملنا مع هؤلاء المرضى جميعا). ونحن لا نعلم بوجود قاعدة بيانات أضخم من هذه حول هذا الاضطراب.

وقد سمح لنا هذا المصدر السريري الشامل بمعرفة أوسع عن سلوك أمهات الدم

(*) BEATING A SUDDEN KILLER

(1) يعتقد أن هذا الخلل وراثي ويظهر على شكل تغيرات هيكلية أو مرض خلقي في القلب. (التحرير)


تشكل أمهات الدم، أو الانتفاخات، في الشريان الأبهر تهديدا صامتا ـ ولكنه يحمل الموت في طياته للمرضى الذين يؤوونها.

الأبهرية الصدرية؛ وعلى الخصوص سرعة نمائها، وكيفية تحديد الزمن الذي قد تصبح فيه حرجة، ومن هم الأكثر تعرضا لها. وساعدت هذه التبصرات الأطباء على تحديد الوقت الذي ينبغي لهم أن يتدخلوا فيه كي يتمكنوا من تجنب هذا النوع من الحوادث المفجعة، كالتي حلّت بـ«كارميلا» وأتت بها إلى قسم الإسعاف في صباح ذاك اليوم.

نظرة إجمالية/ أمهات الدم(*)

- لم يكن السريريون متأكدين عموما من الوقت الذي يجب فيه إجراء عملية لأم الدم الأبهرية ـ وهي انتفاخ في الشريان الكبير الذي يحمل الدم من القلب. وإذا ترك الأمر من دون معالجة، فقد تتمزق أم الدم أو تتسلخ على نحو قاتل نتيجة انخلاع الطبقة الداخلية للوعاء الدموي عن جداره. غير أن المداخلة الوحيدة المحققة، وهي الاستعاضة عن الأبهر المتضرر بأجزاء صنعية، هي في حد ذاتها خطرة.
- قادت التحليلات المفصلة لبيانسات آلاف المرضى إلى خطوط إرشادية نحو أفضل وقت لإجراء العملية.
- إن رافعي الأثقال المصابين بأمهات الدم هم على وجه الخصوص معرضون لخطر الموت الفجائي خلال التدريب، ويجب عليهم اتخاذ احتياطات خاصة.

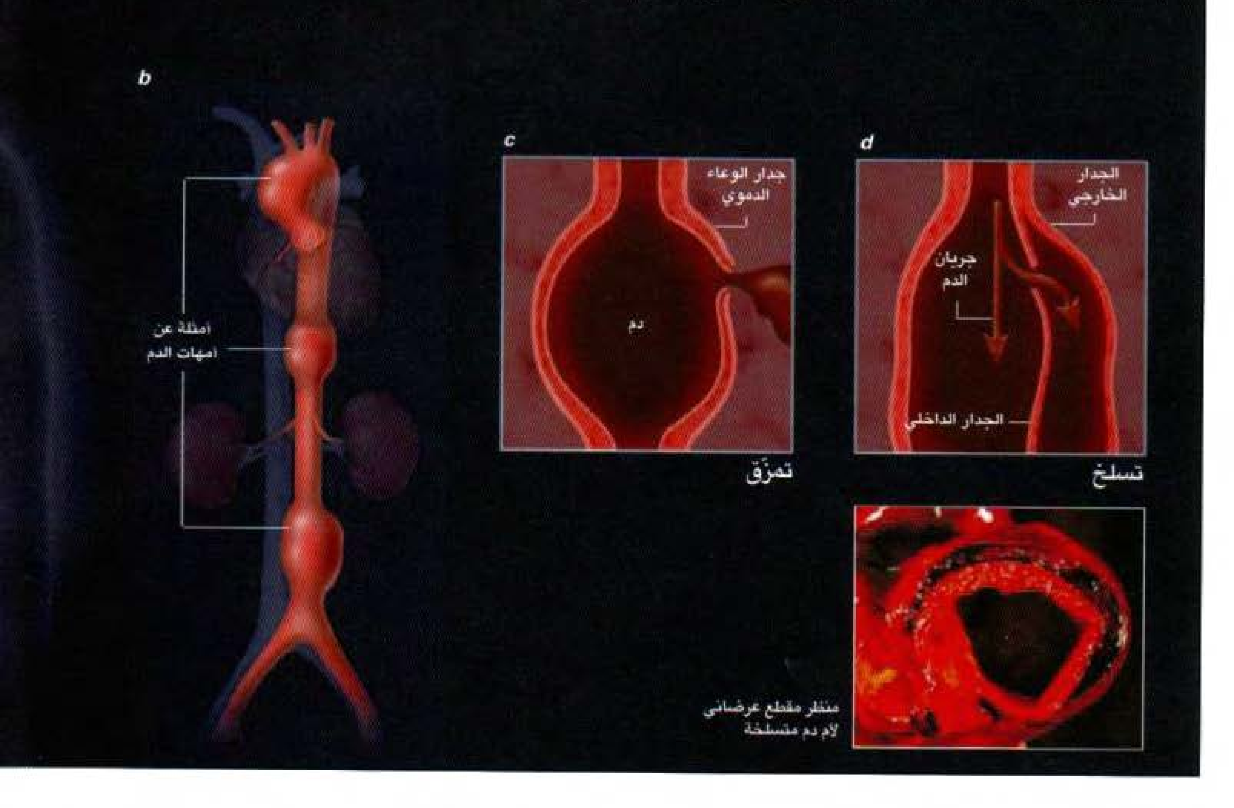
الداء المتفشي خلسة(**)

ولأنني جراح قلب، أركز على الاضطرابات التي قد تؤذي القلب، كأمهات الدم الصدرية. ولكن بوسع أمهات الدم أن تنشأ في أي شريان. ويحدث عدد كبير منها في الأبهر السفلي أو البطني، أي القسم الذي يسير من **الحجاب** diaphragm إلى المنطقة فوق **الحوض** pelvis، حيث التفرعات الشريانية تحمل الدم إلى الساقين. وأظهرت الأبحاث التي أجراها باحثون آخرون أن الآليات التي تشكل أساس نماء أمهات الدم الأبهرية وتسلخها وتمزقها مشابهة للآليات

(*) Overview/ Aneurysms
(**) Silent Stalker

مخاطر أمهات الدم(*)

يشبه الأبهر السليم [a] في شكله العصا، كما يشبه في اتساعه خرطوم ماء الحديقة. إن أم الدم، التي يمكن أن تحدث في أي مكان من الأنبوب، هي انتفاخ يبرز عن الجدار [b] ويترقق هذا ويضعف مع تضخم أم الدم. وقد تكون الحالة مميتة. إن تمزق النسيج [c] أو تسلخ [d والصورة]، أو إن حصل كلاهما. وينجم التسلخ، الذي هو انف الأقسام الداخلية والخارجية لجدار الوعاء بعضها عن بعض تسرب الدم إلى أواسط الجدار عبر شق في البطانة الداخلية طريق تحليل آلاف الحالات، عرف المؤلف وزملاؤه كيفية توقع



التي تتحكم في سير أمهات الدم في الصدر

إن أمهات الدم التي تصيب الأبهر هي الأشد تهديدا للحياة. وفي كل عام يموت ما يزيد على 15 000 فرد في الولايات المتحدة نتيجة لانفجار أم الدم في الصدر أو البطن، أو نتيجة لتسلخها؛ وهو عدد يفوق عدد الذين يموتون بسبب الإيدز. وفي هذا المجال يُذكر أن «A. أينشتاين»، ونجم الكرة الطائرة الأولمبي «F. هيمان»، ولاعب كرة السلة «R. بيرس» [بجامعة فلوريدا الحكومية]، والممثلون «L. بول» و«G. C. سكوت» و«J. ريتر»، هؤلاء جميعا نحبهم بسبب أمهات الدم الأبهرية الصدرية. وإن الأفراد الذين يعانون متلازمة مارفان Marfan هم عرضة لها بصفة خاصة. وقد ذكر المؤرخون احتمال أن رئيس الولايات المتحدة «A. لنكولن» قد أصيب بهذا الاضطراب الذي كان مرضا يقتل معظم ضحاياه في عمر متوسط، وذلك قبل أن تصبح الجراحة أمرا متاحا. وهكذا، فمن المحتمل أن رئيسنا السادس عشر (لنكولن) ربما كان قد مات مبكرا لو لم يتم اغتياله.

تتصف أمهات الدم الأبهرية بالغدر؛ إذ تتفشى بصمت واطراد. ويمكن للوعاء الدموي أن ينتفخ دون أن يسبب ألما. وفي الواقع، يتم اكتشاف وجود أم الدم لدى المرضى حين فحصهم لأمر آخر: فالطبيب قد يعثر على الانتفاخ المنذر بالخطر خلال فحص **بفائق الصوت** ultrasound لتحري نفخة قلبية أو أثناء إجراء **تصوير طبقي محوسب** CT scan للوقوف على سبب سعال مزمن. ويحدث الألم في الغالب حينما تتمزق أم الدم أو تتسلخ فقط. وهو شديد جدا ويصفه المرضى بأنه إحساس بتمزق يحدثه شيء كالسكين مرافق للنوبة. وهو أسوأ في درجته من ألم الولادة أو نوبات الحصيات الكلوية.

وإمكانية بقاء المريض حيا بعد هذا الحادث ضعيفة إلى حد ما. ويغلب أن تسبب التمزقات الوفاة فورا. ولكن هناك بعض الحالات التي يحالفها الحظ، وفيها تتمكن نسج مجاورة من الاحتشاد عند الشق في الأبهر والحفاظ على البنية زمنا يكفي وصول المريض إلى المستشفى. أما بالنسبة إلى التسلخات، فالبقاء على قيد الحياة يعتمد على الموقع. فإن تركت التسلحات التي تبدأ في الأبهر الصاعد ـ وهو **الشدفة** segment

(*) The Perils of Aneurysms

يزداد فيه احتمال تمزق ام الدم او تسلخها. لمثل هذه المعلومات ان تساعد على تقرير تتفوق الحاجة إلى جراحة تصحيحية على الكامنة في هذا الإجراء.

a

الأبهر الصاعد

الأبهر النازل

الأبهر البطني

الصادرة من القلب ـ دون معالجة، كانت قاتلة خلال ساعات أو أيام؛ إذ بوسع التشققات في هذه المنطقة أن تزحزح **الصمام الأبهري** aortic valve مؤدية إلى صدمة، أو ربما تغلق الشرايين الإكليلية مسببة هجمة قلبية. وليست التسلخات في الأبهر النازل على طول خلف الصدر مهددة بالقدر ذاته. فهي تتمزق على نحو أقل تواترا من تلك التي تحدث في الأبهر الصاعد، ولا تشترك الاثنتان في المضاعفات نفسها.

وبوسع الجراحة أن تمنع التمزق أو التسلخ، ولكن عملية استبدال الأبهر خطيرة جدا **وباضعة** invasive في إجراءاتها كلها. وتقتضي هذه العملية إيقاف القلب وتحويل الدم عبر آلة القلب ـ الرئة. واعتمادا على موقع أم الدم، يجب على الجراحين في بعض الحالات إغلاق تدفق الدم كليا وتبريد المريض من درجة 37 مئوية إلى درجة 18 مئوية لإبطاء الاستقلاب (الأيض) ومنع تخرب الدماغ خلال إصلاح الأبهر.

وللوقوف على ما إذا كان مثل هذا التدخل الخطر مضمون العواقب، يجب على الطبيب أن يعرف مقدار أرجحية تمزق أم الدم الأبهرية أو تسلخها. وبصفة عامة، إن أم الدم الضخمة أشد خطورة من أم الدم الصغيرة. غير أن المعلومات الدقيقة كانت مفقودة إلى حد كبير حينما وقعت «كارميلا» مريضة. ومع أن أكثر من 300 بحث كانت قد كتبت حول كيفية إجراء العملية على الأبهر، لم نجد إلا النزر اليسير من المعلومات المفيدة عن وضع أمهات الدم الأبهرية قبل الجراحة، وعلى الخصوص سرعة توسعها ورجحان انفجارها أو تمزقها في كل حجم. فمثلا، لقد تسلخ أبهر «كارميلا» حينما كان قطره 4.8 سنتيمتر، وهو قياس بسيط نسبيا، وكان ذلك سببا لعدم توقع وقوع الحدث. (يبلغ قطر الأبهر الصدري الطبيعي نمطيا بين 2.5 و3.5 سنتيمتر) وهكذا، رأينا أن طرح الأسئلة عن نمو أم الدم واستمراره، هو نقطة جيدة لانطلاق تحرياتنا.

بروز نقطة ابتداء(*)

ولتسهيل الحصول على هذه المعلومات من قاعدة بياناتنا، صمم «ريزو» في البدء طرائق إحصائية متطورة أتاحت لنا أن نحدد بدقة سرعة نمو أمهات الدم. لقد وجدنا أن معظمها ينمو ببطء مدهش لا توقف فيه يبلغ نحو 0.12 سنتيمتر سنويا. وعلى هذا، تستغرق أم الدم عموما عقدا من الزمن لتكبر سنتيمترا واحدا فقط. وتوحي هذه النتيجة بأن أمهات الدم المكتشفة في أواسط العمر لدى الكبار ربما بدأت بالنماء حينما كان المرضى في سن الشباب أو أبكر من ذلك.

وسمحت لنا طريقة إحصائية ابتكرها «ريزو» بتقدير احتمال تمزق، أو تسلخ، أمهات الدم الصدرية من قياسات مختلفة، وأدهشتنا دقة النتائج. واعتمادا على بياناتنا، يرتفع احتمال التمزق أو التسلخ ارتفاعا شديدا حينما تصل أم الدم في الأبهر الصاعد إلى قطر يبلغ نحو 6 سنتيمترات. وقد وجد أن ما يربو على 30 في المئة من المرضى الذين وصلت أمهات الدم لديهم إلى ذاك الحجم تعرضوا لمضاعفة مدمرة: إما التمزق أو التسلخ. وفي الأبهر النازل، تزداد الخطورة ازديادا مريعا حينما يبلغ قطره 7 سنتيمترات تقريبا.

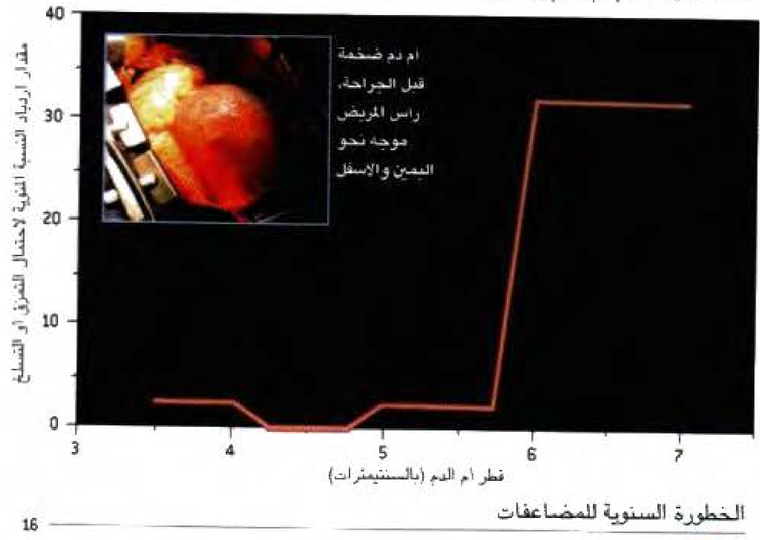
وتمثل هذه الأرقام خطر التعرض مدى الحياة لمضاعفة تمزق أم الدم من أي حجم أو تسلخها، مع أن الأرقام لا تشير إلى متى ستحدث الأزمة. غير أن المرضى الذين يكتشفون وجود أم دم لديهم هم الأكثر اهتماما بالأرقام التي تنبئ بالمعدل السنوي لحدوث المضاعفة؛ وبكلمات أخرى، ما إذا كانت أم الدم لديهم ستؤذيهم في المستقبل القريب.

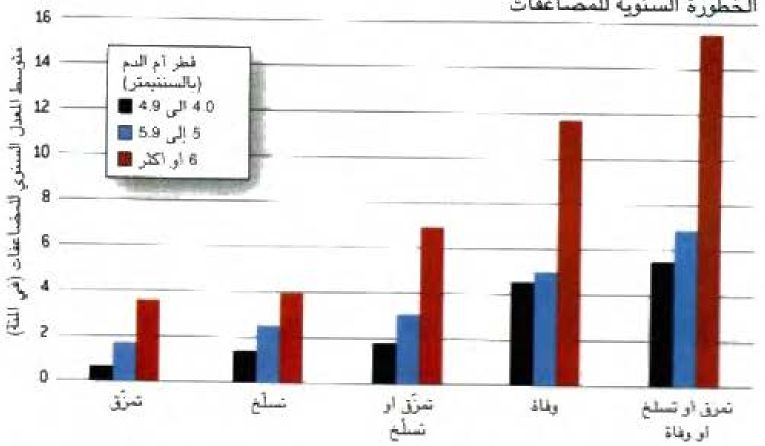
ويتطلب تحديد مثل هذه الاحتمالات دراسة عدد ضخم من الحالات، وقد جمعنا حديثا بيانات تكفي لبدء إجراء التحليلات الإحصائية الملائمة. وتشمل مجموعة البيانات تلك معلومات من مرضى مصابين بأمهات الدم في أي مكان من الأبهر الصدري، مع أن إصابة نحو ثلثي عدد المرضى كانت في المنطقة الصاعدة. ونشاهد ميلا إلى زيادة متدرجة في احتمال وقوع الحوادث السيئة خلال السنة التالية مع نمو أم الدم من 4 سنتيمترات إلى 5.9 سنتيمتر؛ وما إن يصل الأبهر إلى 6 سم قطرا حتى تحدث قفزة حادة في درجة الخطورة [*انظر الرسم البياني السفلي والإيضاح في الصفحة 34*]. وعلى سبيل المثال، نجد أن خطورة التمزق أو التسلخ أو الموت خلال سنة في حالة وجود أم دم صدرية بقطر 6 سنتيمترات أو أكثر ترتفع إلى نسبة مدهشة تبلغ 15.6 في المئة. ولا يحمل العديد من أشكال السرطان هذا الاحتمال السنوي الضخم للوفيات.

وبناء على هذه المشاهدات، نصحنا بوجوب إزالة أمهات الدم في الأبهر الصاعد جراحيا قبل نمو العيب وبلوغ القطر 6 سنتيمترات. ونقترح في حالة

(*) A Threshold Emerges

العلاقة بين حجم أم الدم وخطورة المضاعفات





لقد تم حساب احتمالات حدوث التمزق أو التسلخ في أمهات الدم الأبهرية الصدرية. وفي إحدى الدراسات، رسم الباحث وزملاؤه بيانيا الخطورة التي تكمن في أمهات الدم الصغيرة البالغة 4 وحتى 4.9 سنتيمتر، ووجدوا ارتفاعا هائلا في الخطورة حينما تصل أمهات الدم إلى قياس 6 سنتيمترات في الأبهر الصاعد [*المخطط العلوي*] أو 7 سنتيمترات في الأبهر النازل [غير موضح]. كما أظهرت دراسة أخرى [*المخطط السفلي*] أن احتمال التمزق أو التسلخ أو الموت خلال السنة التالية يرتفع أيضا بحدة في أمهات الدم التي تصل إلى 6 سنتيمترات أو أكثر. [إن المعدلات المبينة بالنسبة إلى «التمزق أو التسلخ» وبالنسبة إلى «التمزق أو التسلخ أو الوفاة» هي أدنى من مجموع المعدلات في الفئات الفردية، إذ جرى حساب المرضى ذوي المضاعفات المتعددة مرة واحدة فقط في الفئات المجتمعة]. واعتمادا على معلومات كهذه، قرر الباحثون أن العديد من مرضى أمهات الدم في الأبهر الصاعد بحاجة إلى جراحة تصحيحية حينما ينتفخ الشريان حتى 5.5 سنتيمتر.

معظم الناس الذين ليست لهم سوابق عائلية من أمهات الدم إجراء العملية حين بلوغ الآفة 5.5 سنتيمتر. أما بالنسبة إلى الأبهر النازل، فربما تجرى الجراحة عندما يصل القياس إلى 6 سنتيمترات إن كان المريض في صحة جيدة تسمح له بتحملها ولكن تؤجل الجراحة أحيانا حتى نحو 6.5 سنتيمتر إن كان المريض ضعيف الجسم. ونحن نجري العمليات حينما تكون أمهات الدم ذات مقاييس أصغر مما جئنا على ذكره للمرضى الذين يعانون متلازمة مارفان أو لديهم سوابق عائلية من الإصابة باضطرابات ذات علاقة بأم الدم مادامت هذه تشكل تهديدا للحياة بين هؤلاء الناس في وقت مبكر. وإننا نرى أن استخدام هذه المعايير سيمنع وقوع معظم التمزقات والتسلخات دون تعريض المريض لمخاطر الجراحة الأبهرية على نحو ملائم أو قبل الأوان. وقبل أن تصل أم الدم إلى درجة تسوّغ اللجوء إلى الجراحة، قد يحاول الأطباء حماية الأبهر بالأدوية التي تضبط ضغط الدم وتبطئ القلب للحد من الشدة التي تمارس على الجدار المنتفخ.

إن الأبهر البطني هو بشكل طبيعي أصغر من الأبهر الصدري، ويحدث تمزق الأبهر البطني عادة في أحجام أصغر مما يحدث في الأبهر الصدري. وطبقا لذلك، فمن المألوف أن يتدخل الأطباء جراحيا في الأحجام الأصغر في أمهات الدم الأبهرية البطنية. وينصح بعض الخبراء بالتدخل في حجم 4 سنتيمترات للنساء و5 سنتيمترات للرجال كإرشادات عامة تقريبية.

السرّ في الأسرة(*)

ولإنقاذ المزيد من المرضى، يعمد الأطباء إلى الإفادة من معرفة الأفراد **اللاأعراضيين**(1) asymptomatic المعرضين لخطر الإصابة بأمهات الدم، كي يتمكنوا من كشف الحالة مبكرا، ومراقبتها عن كثب ومعالجتها فورا. إن متلازمة مارفان هي إنذار معروف تماما، وينتهي الأمر بالعديد ممن يعانون هذه المتلازمة بالإصابة بأمهات الدم الأبهرية. غير أن مرضى متلازمة مارفان لا يمثلون إلا 5 في المئة فقط من مرضى أم الدم جميعهم. أما نسبة الـ95 في المئة المتبقية فهي حالات غامضة ويبقى سببها مجهولا حتى الآن.

اعتقد الأطباء يوما أن أمهات الدم ناجمة عن **التصلب العصيدي** atherosclerosis، الذي هو تراكم لويحات دهنية في جدار الشرايين. غير أننا وجدنا أن مرضى أمهات الدم في الأبهر الصاعد هم في الحقيقة أقل استعدادا للإصابة بالتصلب العصيدي من الناس عموما، ولذا ربما لا يشكل توضع اللويحات سببا في حالاتهم. ومن جهة أخرى، غالبا ما تبدو أمهات الدم في المناطق السفلية والبطنية مترافقة بلويحات في

(*) All the Family

(1) المصابين بمرض لا يترافق بأعراض سريرية مع وجود أعراض مرضية على مستوى الخلايا والأعضاء. (التحرير)

الأبهر وفي تفرعاته، مما يوحي بأن التصلب العصيدي ربما يسهم في حدوث أمهات الدم تلك.

أظهرت قاعدة بياناتنا أن معظم أمهات الدم الصدرية ذات مكوّن وراثي (جيني) قوي من نوع ما. وينطبق الأمر ذاته على أمهات الدم في الأبهر البطني وفي الدماغ. وقد أصبنا بدهشة بالغة عندما راجعنا القصص العائلية للمرضى المصابين بأمهات الدم، واكتشفنا مقدار تواتر ذكرهم أن قريبا لهم أصيب بأم الدم أو فردا من أسرتهم مات فجأة أو على نحو غير متوقع في عمر مبكر. وغالبا ما نُسب حدوث الشكل الأخير إلى توقف القلب، ولكن تشريح الجثة أظهر في حالات عديدة أم دم متمزقة. وفي 500 أسرة قمنا بتحليل معلومات عن أنسابها، وجدنا أن نحو 20 في المئة منها ذات سوابق إصابة بأم الدم. ويبدو أن هذه الخَلة[1] مسيطرة في معظم الأسر؛ وبكلمات أخرى لا يحتاج الفرد إلا إلى وراثة «جينة أم الدم»[2] من أحد الأبوين كي يتعرض للإصابة. وفي إحدى هذه الأسر نقل الأب مرض الأبهر إلى أولاده الأربعة جميعا. وأظهرت أسر أخرى أنماطا مختلفة من الوراثة؛ مما يشير إلى أن أكثر من جينة واحدة يمكنها أداء دور في الاستعداد للإصابة بأم الدم.

إذا أتيح تحديد الواسمات[3] الجينية التي تدل على ازدياد الاستعداد للإصابة بأم الدم، فربما تمكن الأطباء يوما من استخدام اختبار دموي بسيط لإجراء تعيين دقيق للمحتاجين إلى مراقبة شديدة لكشف أمهات الدم مبكرا وتقرير أفضل وقت للجراحة. وقد تعتمد تلك الاختبارات على **التصوير الطبقي المحوسب** CT scan أو **تخطيط صدى القلب** echocardiogram. وإن أمكن إيجاد الجينات الحقيقية المسؤولة عن الخطأ، فربما صار الباحثون قادرين على تطوير طرق مداواة تبطل على وجه الخصوص تأثيراتها السيئة، كإبطاء نمو أمهات الدم أو منع حدوثها عن طريق إحصار النشاطات غير المرغوبة للبروتينات التي **تكودها** encoded تلك الجينات.

ومع سعينا الدؤوب لإيجاد طرق كشف أفضل والتوصل في نهاية المطاف إلى تحسين طرق المعالجة، بدأنا، بالتعاون مع علماء من مركز سيليرا Celera للتشخيص في ألاميدا بكاليفورنيا، بالبحث عن واسمات جينية تدعى SNPs ـ أي: متعددات الأشكال ذوات النوويدات المفردة ـ التي ترتبط بالمرض الأبهري. إن الواسمات SNPs هي سلاسل **دنوية** DNA تختلف في نوويد مفرد، أو في رسالة مكودة، بين قسم من السكان وآخر. ويقارن <ل. ديفلن> و<O. ياكوبوفا> وفريقهما في سيليرا عينات من الدنا مستحصلة من 500 من مرضانا المصابين بأمهات دم صدرية ومن بين 500 فرد أصحاء الجسم، هم في هذه الحالة أزواج المرضى. وبالاعتماد على وسائل مؤتمتة سيجرون فيما بعد **تفريسا** scan لـ 16 000 منطقة وراثية للواسمات SNPs التي تظهر بتواتر أكثر في المرضى مما هي في الشواهد الأصحاء.

وأظهر عملنا المبدئي عددا من الواسمات SNPs التي ربما تحدد تزايد الخطورة، ونحن نقوم بمتابعة هذه النقاط الأساسية في مجموعة مرضانا الضخمة. إضافة إلى ذلك، نجري دراسة مشابهة على مرضى أم الدم في أوروبا للتأكد من صحة نتائجنا في مجموعات سكانية مختلفة.



لقد أصبح جدار الأبهر رقيقا جدا في أم دم بلغ قطرها 6 سنتيمترات، حتى أمكن من خلاله رؤية تدريجات مسطرة وضعت وراء نسيج الجدار. وتشير النتائج الحديثة إلى أن أمهات الدم ناجمة جزئيا عن فرط نشاط إنزيمات، تعرف بالإنزيمات البروتينية المفلزَّة (MMps)، تهضم البروتينات اللازمة لمرونة جدار الشريان.

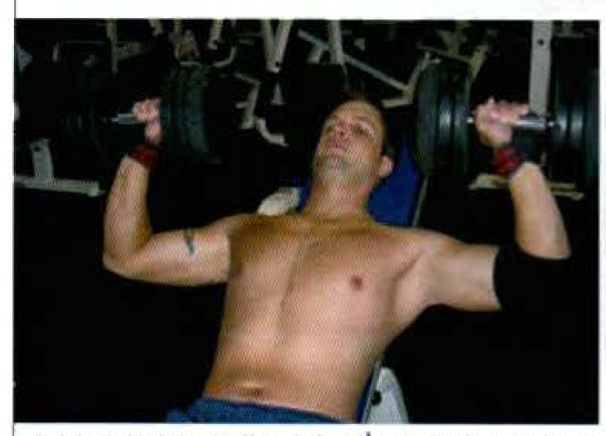
أين يكمن الخطأ(*)

إذا تم تحديد الجينات التي تحدث فيها الواسمات SNPs المتصلة بأم الدم، تمكّنا من تمييز البروتينات التي تكودها تلك الجينات وعرفنا كيف تسهم هذه في سوء وظيفة الأبهر. بيد أن لدى الباحثين إحساسا ببعض البروتينات التي ربما تكون معنية بالأمر. فمثلا، نحن نعرف أن الجزء المتمطط من جدار الوعاء في معظم مرضى أمهات الدم الأبهرية يبدي ضياعا في الألياف المرنة وفي **الكلاجين** collagen مقارنة بالنسيج السليم. وتضافر هذه البروتينات يمنح الشريان قوته ومرونته. ويمكن للعيوب التي تسهم في هذه المشكلة أن تحدث في الجينات التي تكود تلك البروتينات أو في غيرها من الجينات التي تنظم تصنيع أو صيانة **الإيلاستين (المرنين)** elastin والكلاجين.

وفي متلازمة مارفان، يغلب أن تؤدي العيوب الجينية المسؤولة عن الضرر إلى حرمان الجينة من الفبريلين (الليفين)، وهو بروتين يتضافر مع الإيلاستين لتشكيل ألياف مرنة. ونتيجة لذلك، تقع الفوضى في اصطناع وتوضع الفبريلين؛ وهي مشكلة يفترض أنها تضعف جدار الأبهر وتعرّضه لتشكل أم الدم.

(*) What Goes Wrong
(1) trait
(2) aneurysm gene
(3) markers

تحذير لرافعي الأثقال[*]



شاب عانى تسلخا ابهريا حرّضه رفع اوزان ثقيلة جدا ولايزال يحمل ندبة الجراحة التي اجريت له وانقذت حياته. أتيحت له فرصة حسنة حينما عجّل في حدوث التسلخ الارتفاع الحاد في ضغط الدم خلال اختبارات الأهلية ويمكن ان يرتفع ضغط الدم حتى بين الأصحاء ويصل إلى قيم هائلة تفوق 300 مليمتر زئبقي في اثناء رفع الأثقال (المخطط).

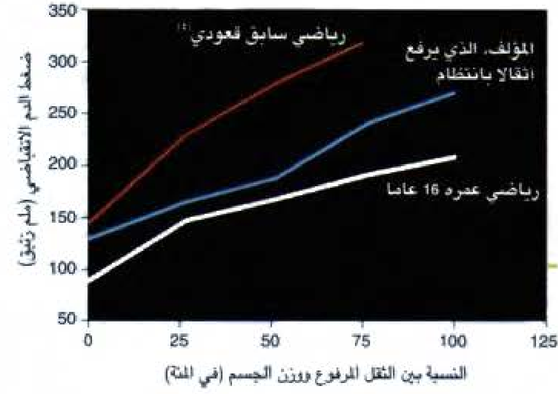
في أواخر عام 2003 نشرت مع زملائي في «مجلة الجمعية الطبية الأمريكية» حدوث تسلخ الأبهر المأساوي في أفراد بدوا في صحة جيدة ظاهريا وكانوا يمارسون تدريبا رياضيا عنيفا. وكان لدى كل منهم، دون علمه، انتفاخ في جزء الشريان الأبهر الصادر من القلب. وحدث فجأة على نحو يهدد الحياة أن انفصل النصف الداخلي من الجدار المتمطط عن الجزء الخارجي. وكان اثنان منهم حين التسلخ يرفعان أثقالا، وكان اثنان يمارسان التمارين الرياضية لعضلات الذراعين والكتفين، وكان الخامس يحاول رفع قطعة ثقيلة من حجر الصوان (الگرانيت). وقد أنقذ ثلاثة منهم بمداخلة جراحية. ومنذ ذلك الحين، أصبحنا على علم بعشرات الحالات الأخرى من تسلخ الأبهر أثناء رفع الأثقال، مما يشير إلى أن الظاهرة ليست نادرة في المجال الطبي.

أين يكمن تفسير هذه الصلة؟ يبدو جزء من ذلك في أن التمارين الرياضية التي تتطلب التمطط المضاد لمقاومة ثابتة، كما يحدث في رفع الأثقال، يمكنها أن ترفع ضغط الدم وتوصله إلى مستويات عالية بشكل خطر. وقد سجلت بعض الدراسات ضغطا انقباضيا (وهو الضغط في الشرايين حين انقباض القلب) بلغ 380 مليمترا زئبقيا بين رافعي الأثقال المتنافسين، مع أن القيمة الطبيعية له هي 120 أو دون ذلك. وأكدنا حدوث هذا الارتفاع في الضغط في دراسة لنا شملت ثلاثة متطوعين. لقد وصل الضغط عند أحدهم إلى 319 مليمترا زئبقيا حينما كان يرفع وزنا يعادل ثلاثة أرباع وزن جسمه (المخطط).

وربما كان مثل هذا الضغط كبيرا جدا بالنسبة إلى شريان سبق تمططه فلا يستطيع تحمله. ووجدنا من دراسات أخرى للخصائص الميكانيكية للأبهر المتمدد أنه في حدود 200 مليمتر زئبقي، تمارس أم الدم البالغة 6 سنتيمترات 800 كيلو پاسكال من الضغط ـ وهي قيمة تساوي **مقاومة الشد** tensile strength العظمى للنسيج. ولذا لن يدهشنا ألا تقاوم أم الدم الأبهرية المعرضة لضغط دم يقترب من 300 مليمتر زئبقي أو يفوقه.

وبسبب هذا الارتفاع في الضغط نقول للرياضيين ذوي السوابق الشخصية أو الأسرية لأم الدم الأبهرية أو لأي توسع أبهري معلوم أن يلزموا الحذر الشديد في ممارستهم رفع الأثقال. وربما تعيّن عليهم أن يحدوا من نشاطاتهم في رفع الأثقال إلى ما يساوي نصف أوزان أجسامهم أو دون ذلك. وقد يكون رفع الأثقال مفيدا جدا للحفاظ على الكتلة العظمية وقوة العظام؛ غير أننا ننصح بشدة الأفراد الذين ينوون المباشرة في برامج التدرب على رفع أوزان ثقيلة أن يجروا **مخطط الصدى** echocardiogram لقلوبهم لفحص احتمال وجود أمهات دم لديهم قبل الشروع في رياضتهم.

-J.A.E.



ومع ذلك، لا أحد يعرف حتى الآن مقدار شيوع الطفرات في جينة الفبريلين بين المرضى المصابين بمتلازمة مارفان.

لقد وجدنا مؤخرا دليلا على أن الوفرة المفرطة في بعض الإنزيمات في جدار الأبهر ربما أسهمت في تشكل ونماء أمهات الدم في ضحايا عديدين. إن الأوعية الدموية جميعها تؤوي إنزيمات تدعى **الإنزيمات البروتينية المفلّزة** metalloproteinases (MMPs) التي تمضغ البروتينات القديمة لتسمح بصنع أخرى جديدة. وتملك الأوعية ذاتها أيضا بروتينات مثبطة تساعد على إبقاء الإنزيمات MMPs في وضع حرج ويتوازن نشاط هذه البروتينات في جدار أبهر سليم على نحو يبقى فيه انقلاب[1] البروتين ثابتا. وعلى نقيض ذلك، نجد في شدف الأبهر التي أزيلت من مرضانا المصابين بأم الدم في تمطين من الإنزيمات MMPs ونقصا في مقادير أحد البروتينات المثبطة[2].

وقد يؤدي انعدام التوازن هذا إلى ازدياد تدرك[3] البروتينات، بما فيها الإيلاستين والفبريلين، في جدار الأبهر؛ وهي حالة يمكنها تمهيد الطريق لأمهات دم أبهرية صدرية عن طريق إضعاف جدار الوعاء. وفي أحد المرضى، أصبح الأبهر رقيقا جدا إلى درجة أمكن فيها قراءة علامات مسطرة عبر جداره. ووجد علماء آخرون دليلا على دور الإنزيمات MMPs ذات النشاط المفرط. وتوحي هذه النتائج أن الأدوية القادرة على حصر نشاط الإنزيمات MMPs قد تساعد على تثبيط نمو أمهات الدم الأبهرية أو الحيلولة دون تمزقها. ولكن دراسة هذه الفكرة لاتزال في بداياتها.

وبدأنا مؤخرا مع زميلنا <G> كولياس> [من جامعة ييل] بتقييم الخواص الميكانيكية للأبهر المتوسع لنعرف بشكل أفضل السبب الذي يجعله أشد خطورة حينما يتضخم

(*) A Warning for Weight Lifters
(1) turnover
(2) inhibitory proteins
(3) degradation
(4) sedentary: لا يحب التنقل أو يعمل معظم أعماله قاعدا. (التحرير)

من يجب أن يقلق(*)

إن أم الدم الأبهرية شبيهة، في بعض النواحي، بقنبلة موقوتة في الصدر. فقد تبقى صامتة إلى أن يأتي يوم تتمزق فيه أو تتسلخ. ولكنّ هناك ظروفًا معينة غالبا ما تشير إلى استعداد شخص لأمهات دم أبهرية هي:

- وجود سوابق عائلية لأمهات الدم.
- وجود فرد ما في الأسرة أصيب **بوهط** collapse صحي ومات فجأة أو دون توقع.
- وجود متلازمة Marfan أو سماتها. وتشمل هذه الأطراف الطويلة والبنية العامة الطويلة والنحيلة، والمفاصل اللينة [كما يتضح في قدرتها المبينة *في الأيسر* على ثني الإبهام حتى يقطع كامل المسافة الواقعة فوق راحة اليد مع الحفاظ على اليد منبسطة].

أقول وزملائي للمرضى الذين تنطبق عليهم أي من هذه المعايير - أو الذين ينوون الانخراط في رياضة رفع الأثقال - أن يجروا **تفريسات** scans مقطعية محوسبة أو مخططات لصدى القلب لمراقبة وجود أمهات الدم. إن التدرب على رفع الأثقال لا يزيد من خطورة الإصابة بأم الدم؛ ولكن، وكما هو مذكور في *المؤطر في الصفحة المقابلة*، يزيد من احتمال أن تصبح أم الدم الموجودة قاتلة على نحو مفاجئ. -*J. A. E.*

ونحن نقيس قطر أم الدم وسماكة جدارها وضغط الدم في أثناء انقباض القلب واسترخائه قبل أن نزيلها جراحيا. واعتمادا على هذه المعلومات يمكننا حساب خصائص الوعاء الدموي الميكانيكية.

لقد بيّنا أن تضخم الأبهر يؤدي إلى إضعاف قابلية انتفاخه أو قدرته على التمطط. كما بينا أنه في الوقت الذي تصل فيه أم الدم في الأبهر الصاعد إلى 6 سنتيمترات قطرا - وهي القيمة الحرجة ذاتها التي وجدناها في دراساتنا السابقة لسلوك أم الدم - يصبح الوعاء كأنبوب قاس. وهذا التصلب يرفع إلى الحد الأعلى الجهد الذي يمتصه جدار الأبهر بينما يجتازه الدم مع كل نبضة قلب، ويساعد ذلك على شرح السبب الذي يجعل الاضطراب يقع غالبا حينما تصل أم الدم إلى البعد الحاسم البالغ 6 سنتيمترات.

إن انعدام المرونة يهيئ الظروف لبلوغ أم الدم الأبهرية مرحلة كارثية ولكن ما الذي يجعلها تتجاوز الحد؟ لقد بدأنا بتصنيف الأحداث النوعية التي تسبب حدوث التسلخ في لحظة معينة من الزمن لدى فرد يملك الاستعداد. وبعد إجراء مقابلات مع مرضانا في قاعدة بياناتنا، تبين أن نحو ثلاثة من كل أربعة مرضى يتذكرون تعرضهم لعارضة هائلة من الانفعال الشديد أو الجهد الجسمي سبق التسلخ تماما. إن ما يملكه هذان النشاطان من أمر مشترك هو افتراض أن كلا منهما يفضي إلى ارتفاع في ضغط الدم بسبب انشقاق الأبهر السريع التأثر. ولدينا برهان نوعي يدل على أن هذا هو ما يحدث في أحد أنواع النشاطات الرياضية، وهو رفع الأثقال. وفي الحقيقة، يمكن أن تضع هذه الرياضة جهدا كبيرا على أم الدم فتعجل بحدوث الأزمة حتى وإن لم يكن الانتفاخ قد تجاوز 6 سنتيمترات [*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*]. ويبدو منطقيا أن نخمّن بأن ارتفاع الضغط الناجم عن أحداث أخرى قد يستحث تمزق أم الدم، مع أننا حتى الآن لم ندرس هذا الاحتمال مباشرة.

لقد أبدى طبيب القرن التاسع عشر الشهير السير ‹W. أوسلر› مرة ملاحظة قال فيها: «ليس هناك مرض يشعر السريريون أنه يحط من قدرهم أكثر من أم الدم التي تصيب الأبهر.» أما اليوم فإن الاستقصاءات التي طالت بيولوجيا أم الدم الأبهرية الصدرية وسلوكها - بدءا من الاستعداد الوراثي الذي يسبب تشكلها وحتى الأحداث الجسيمة والانفعالية التي تؤدي إلى انتفاخها أو تمزقها - تساعد على جعل الحالة أقل قهرا.

أما ‹كارميلا› فمستمرة في العيش بصحة جيدة، كما عادت إلى عملها كفنانة. وتقول: «أعرف أن الكلام يبدو مكررا، ولكنني أشعر أنني أُعطيت فرصة ثانية لأعيش حياتي» - فرصة لم تتح لأبيها الذي مات بسبب تسلخ أبهري في عمر 34 عاما. ونأمل أن تفضي أبحاثنا التي أوحت بها أزمة ‹كارميلا› في ذاك اليوم الربيعي المريع، إلى إتاحة الفرصة نفسها لمرضى آخرين كثيرين. ■

(*) Who Should Worry

المؤلف

John A. Elefteriades

تخرج بامتياز كبير في جامعة ييل وذلك بثلاثة اختصاصات هي الفيزياء، واللغة الفرنسية وعلم النفس قبل أن يتابع دراسته ويحصل على شهادة الطب والتدرب السريري في الجراحة العامة وجراحة القلب والصدر. وهو الآن أستاذ ورئيس الجراحة القلبية الصدرية في تلك الجامعة وفي مستشفى New Haven التابع لها. لقد بدأ برنامج التدرب على رفع الأثقال منذ أن كان في فريق المصارعة في الصف السابع، ويواظب على هذه الرياضة من ذلك الحين؛ ويستطيع رفع ثقل يساوي 75 في المئة من وزنه الشخصي. وهو متأكد بوساطة مخطط القلب أنه لا يؤوي أية أم دم.

مراجع للاستزادة

Surgical Intervention Criteria for Thoracic Aortic Aneurysms: A Study of Growth Rates and Complications. Michael A. Coady et al. in *Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 67, No. 6, pages 1922–1926; June 1999.

Yearly Rupture or Dissection Rates for Thoracic Aortic Aneurysms: Simple Prediction Based on Size. R. R. Davies, L. J. Goldstein, M. A. Coady, S. L. Tittle, J. A. Rizzo, G. S. Kopf and J. A. Elefteriades in *Annals of Thoracic Surgery*, Vol. 73, No. 1, pages 17–27; January 2002.

Weight Lifting and Rupture of Silent Aortic Aneurysms. John Elefteriades et al. in *Journal of the American Medical Association*, Vol. 290, No. 21, page 2803; December 3, 2003.

Perspectives on Diseases of the Thoracic Aorta. John A. Elefteriades in *Advances in Cardiology*, Vol. 41, pages 75–86; 2004.

Kevin Helliker and Thomas M. Burton's *Wall Street Journal* series on aortic aneurysms: **www.pulitzer.org/year/2004/explanatory-reporting/works/**

Scientific American, August 2005

الراديو الاستعرافي(*)

سوف تتجنب أجهزة الراديو الذكية والتجهيزات اللاسلكية الحديثة الأخرى عوائق الاتصال، بالتحول آنيا إلى ترددات مجاورة تجدها واضحة.

<S. اشلي>

تبث محطة الإذاعة المفضلة لديك على تردد معين، وحينما تضبط المستقبل على عدد الاهتزازات في الثانية الموافقة لذلك التردد، فإنك تولّف دارة الهوائي لتستخلص تردد المحطة ذاك من الأثير. وإذا تداخلت مرسلات أخرى مع ما تستقبله، فإن خيارك الحقيقي الوحيد هو أن تنتظر زوال المشكلة، أما في أفضل الحالات، فيمكن للمستقبل الاستجابة للمشكلة بالتحوُّل فورا إلى تردد احتياطي عامل يحمل بث إذاعتك. إن مثل هذا الحل مازال بعيدا عن متناول تقانة الراديو الحالية. وهذا المثال قد يوحي بأن المشكلة تافهة. لكنْ تخيَّل الآن أن التداخل يسبب انقطاع مكالمة خلوية طارئة وعاجلة. في تلك الحالة، يمكن لانتقال المكالمة السريع إلى قناة خلوية صافية أن يكون أكثر من مجرد شيء مفيد ـ فقد يُنقذ حياة شخص في خطر.

يعمل المهندسون حالياً على إدخال ذلك النوع من الذكاء العملياتي المرن في أجهزة الراديو والهاتف الخلوي وتجهيزات الاتصالات اللاسلكية الأخرى المستقبلية. وخلال العقد القادم، سوف تمكِّن تقانةُ الراديو الاستعرافي(1) أيَّ نظام لاسلكي تقريبا من تحديد واستخدام أيِّ تردد راديوي محلي متاح وغير مشغول، بغية خدمة المستخدم على أفضل وجه. فباستخدام برمجيات متكيِّفة، يمكن لهذه التجهيزات الذكية إعادة تشكيل وظائفها الاتصالاتية لتحقِّق متطلبات شبكة الاتصال والمستخدم.

سوف يَعْرف جهاز الراديو الاستعرافي ما عليه فعله اعتمادا على خبرة سابقة. فأثناء ذهابك إلى العمل صباحا، على سبيل المثال، يمكنه، وهو إلى جانبك في السيارة، قياس خصائص الانتشار وشدة الإشارة وجودة الإرسال في النطُق(2) المختلفة [انظر *الإطار أعلى الصفحة 40*]. بذلك يمكن لوحدة الراديو الاستعرافي بناء قاعدة بيانات داخلية تقرِّر طريقة العمل المثلى في الأمكنة المختلفة وفي كلِّ وقت من أوقات اليوم. وعلى العكس من ذلك، فإن النطق الترددية وبارامترات بروتوكولات الاتصال في النظم اللاسلكية الحالية هي ثابتة على الأغلب.

حينما ترسل أجهزة الراديو الاستعرافي الإشارات وتستقبلها، سوف تقفز بسرعة بين النطق الترددية(3) لشاغرة بحسب المطلوب، متجنبة تلك التي هي قيد الاستخدام. إن هذا القفز بين الأقنية بسرعة البرق، سوف يتيح لنظم الراديو الاستعرافي إرسال الصوت والبيانات بسرعة معقولة. وباستغلال موارد الترددات الراديوية(4) RF المتوافرة استغلالا عالي الفعالية، بغية تجاوز اختناقات حركة توفير الطيف، سوف تصبح الاتصالات اللاسلكية أكثر قابلية للاعتماد عليها وأكثر راحة، وربما تصبح أرخص بكثير مما هي عليه اليوم. وبالفعل، إذا تقدمت تقانة الراديو الاستعرافي كما يأمُل مطوِّروها، فسوف يظهر فيض من خيارات الطيف الترددي(5) عمليا مع مضي الزمن. ولن تكون موجات الهواء كما كانت عليه من قبل أبدا.

ليس ثمة متسع في الهواء(***)

من سوء الطالع أن جميع موجات الهواء تلك شديدةُ الازدحام حاليا. فبعض النطق

نظرة إجمالية/ الراديو الذكي(**)

- الراديو الاستعرافي هو تقانة اتصالات لاسلكية ذكية بازغة سوف تكون قادرة على إيجاد تردد راديوي شاغر في الجوار والاتصال بوساطته بغية خدمة المستخدم على أفضل وجه. إذًا، سوف يكون الراديو الاستعرافي قادرا على التحول من نطاق من الطيف الراديوي أغلقها التداخل، إلى نطاق شاغر لإكمال قناة الاتصال، وهذه مقْدرة مهمة، في الطوارئ على وجه الخصوص.
- سوف تمكِّن البرمجيات المتكيِّفة هذه التجهيزات الذكية من إعادة تشكيل وظائفها لتلبي متطلبات شبكات الاتصالات ومستخدميها بحسب الحاجة. وسوف تستند هذه التغيرات إلى المقْدرة على تحسُّس عوامل مختلفة وتذكُّرها، من قبيل الترددات الراديوية وتصرُّف المستخدم، أو حالة الشبكة في بيئات إرسال مختلفة، في أي وقت أو مكان. ونتيجة لذلك سوف تصبح الاتصالات اللاسلكية أكثر سهولة وقابلية للاعتماد عليها.
- يمكن للمرونة الجديدة التي يوفرها الراديو الاستعرافي أن تمكِّن المستخدمين أيضا من الاستفادة، في نهاية المطاف، من مسارات شبكة لاسلكية أرخص متاحة محليا لإقامة الاتصال، وهذه سمة يمكن أن تؤثر كثيرا في تحديث أعمال الاتصالات الصناعية والتجارية.

(*) COGNITIVE RADIO
(**) Overview: Intelligent Radios
(***) No Room
(1) cognitive radio: والمقصود بالراديو هنا كل ما له صلة بالترددات الراديوية؛ أما صفة الاستعرافي فتنطوي على مقدرة النظام الراديوي على معرفة البيئة المحيطة به والتصرف بناء على تلك المعرفة.
(2) bands
(3) frequency bands
(4) radio frequency
(5) spectrum availability

الترددية مشغولة إلى حد جعل الانتظار الطويل والتداخل هما القاعدة. لكن توافر قنوات الاتصال يعتمد على النظم اللاسلكية المستخدمة. إن الطيف الراديوي، أيْ ذلك الجزء من الطيف الكهرمغنطيسي(1) الذي يحوي موجات في نطاق الترددات الراديوية، يحتضن اليوم عددا لا يُحصى من أجهزة الاتصالات. وفي الولايات المتحدة، تخصص **وكالة الاتصالات الفدرالية** Federal Communications Commission (FCC) المستخدمين بترددات معينة، وتتضمن تلك الترددات النطق الشهيرة AM(2) و FM(3) والموجة القصيرة ونطاق المواطنين(4) (الأفراد)، وأقنية التلفزة في النطاقين VHF(5) و UH(6)، إضافة إلى مئات من النطق الأقل شهرة التي تخدم الهواتف الخلوية واللاسلكية، ونظم تتبع الـ GPS(7) ورادارات مراقبة الحركة الجوية، وأجهزة الإنذار الأمنية، والدمى المتحكم فيها راديويا وما شابهها [*انظر الإطار في الصفحة 43*].



تقفز الإشارات اللاسلكية في الراديو الاستعرافي آليا إلى تردد متاح شاغر. وتكون النتيجة إرسالات أعلى وثوقية، وربما اتصالات بتكاليف أقل في المستقبل.

نَجَم الشُحّ الحالي في الطيف الراديوي، في المقام الأول، عن القيود المتمثلة بتكلفة وأداء **العتاديات** hardwear الموروثة التي بُنيت في القرن الماضي. فبحلول نهاية خمسينات القرن العشرين، على سبيل المثال، أرغمت تصاميمُ الأجهزة التلفزيونية، السائدةُ حينذاك والقائمةُ على الصمامات الإلكترونية، النماذجَ الجديدة التي تستخدم الترانزستورات على استقبال إشارات الـ VHF فقط، إلى أن تمكّن المهندسون من إدخال تحسينات على تلك الأجهزة بعد بضع سنوات. أما اليوم، فيعالج عدم مرونة العتاديات هذا بتصاميم لاسلكية متكيِّفة تعتمد على البرمجيات.

إن هذا الجيل التالي من تقانة اللاسلكي، والمسمى **بالراديو المعرَّف برمجيا** software-defined radio (SDR)، يستخدم خوارزميات معالجة الإشارة المتضمَّنة فيه لغربلة الإشارات الراديوية الضعيفة، إضافة إلى بنى برمجية قابلة لإعادة التشكيل لاستقبال وإرسال بروتوكولات راديوية جديدة. ويتوقع الخبراء أن هذا التقدم المستند إلى البرمجيات سوف يُحدث في المدى القريب نسبيا تحولا مزلزلا في التصميم الراديوي.

إن التغيير يعني، على سبيل المثال، أن تقانات كود الراديو SDR، وتقانات واجهات التخاطب الراديوية الأمامية الأخرى القابلة للبرمجة والعاملة في حاسوب محمول (مزوَّد ببطاقة صغيرة للوصل مع وحدة راديوية) يمكن أن تستقبل إشارات تلفزيونية وتُظهرها. فإذا زُوِّد الحاسوب المحمول أيضا ببطاقة راديوية تماثلية(8) SDR، أمكنه تحميل برمجيات تتيح له التصرف كجهاز هاتف خلوي أو محطة خلوية قاعدية أو مفكِّرة لاسلكية شخصية أو حتى أيِّ جهاز راديوي عسكري - أياً كان المطلوب (والمسموح به) لأداء المهمة المعنية. وعلى الرغم من أن الاتصالات اللاسلكية القائمة على الراديو SDR ليست معروفة إلا لقليل من الناس، فإن العالم بدأ فعلا بدخول حقبتها.

يأتي الراديو الاستعرافي عقب تقانة الراديو SDR ويبني عليها. ويشتمل هذا النموذج اللاسلكي الجديد على نظم الراديو SDR، التي تستطيع إعادة تشكيل خرجها

(1) يتضمن الطيف الكهرمغنطيسي الطيف الراديوي (*المبين في الصفحة 43*) والأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية.
(2) أي ما يُعرف في جهاز الراديو بالموجة المتوسطة، وAM اختصار لـ Amplitude Modulation. أي التضمين السعوي المستخدم عادة في بث الموجة المتوسطة.
(3) أي ما يُعرف في جهاز الراديو بموجة الـ FM، وهي اختصار لـ Frequency Modulation، أي التضمين الترددي المستخدم عادة في بث الموجات اللاسلكية القصيرة والقصيرة جدا التي تحمل الصوت والموسيقى.
(4) أي النطاق الترددي المخصص للأفراد خارج أطر المؤسسات والهيئات.
(5) أي الموجات القصيرة جدا، أو الموجات ذات التردد العالي جدا Very High Frequency المستخدمة عادة في البث التلفزيوني الأرضي.
(6) أي الموجات الفائقة القصر، أو الموجات ذات الترددات فوق العالية Ultra High Frequencies المستخدمة عادة في البث التلفزيوني الأرضي وفي بعض شبكات الاتصالات الخلوية.
(7) أي نظام تحديد الموقع الشامل Global Positioning System
(8) analog

(التحرير)



الراديوي التماثلي، والتي تتضمن «وعيا ذاتيا» ومعرفة ببروتوكولات الاتصال وقواعده وإجراءاته. إن هذه التطورات سوف تُنتج راديو استعرافيا قادرا على تحسس بيئة تردداته الراديوية وموقعها، ومن ثمّ تغيير استطاعته وتردده وطريقة تضمينه وبارامترات تشغيله الأخرى بغية استخدام الطيف المتاح على نحو ديناميكي.

يعني الوعي الذاتي مقدرة الوحدة على معرفة ذاتها، ومعرفة علاقتها بالشبكات الراديوية التي تقطنها. والمهندسون يستطيعون تنفيذ هذه الوظائف بوساطة نموذج حسابي للجهاز ولبيئته، إذ يُعرِّفه بوصفه كينونة مستقلة («ذات») تعمل باعتبارها «جهاز راديو». ويعرِّف النموذج أيضا "مستخدما" يمكن للنظام اكتساب معرفة عنه.

سوف يكون الراديو الاستعرافي قادرا على أن يتحسس تلقائيا كيفية تغيُّر بيئته الراديوية مع الموقع والزمن بدلالة الاستطاعة التي يُشعها هو والمرسلات الأخرى في جواره. إن بنى البيانات هذه، مع البرمجيات ذات الصلة، سوف تمكِّن جهازَ الراديو الاستعرافي من اكتشاف الشبكات المحيطة به واستخدامها الاستخدام الأمثل، متجنبا في الوقت نفسه التداخل الذي تسببه أجهزة راديوية أخرى. وفي المستقبل غير البعيد، سوف تتشارك تقانة الراديو الاستعرافي في الطيف الترددي المتاح تشاركا أمثليا دون تعليمات من شبكة تحكم، الأمر الذي يمكن أن يحرر المستخدم في النهاية من العقود والأجور.

إن مقدرة تقانة الراديو الاستعرافي على إعادة تعريف الخدمات اللاسلكية الحالية، تصبح واضحة عند النظر إلى جوانبها الاقتصادية. فالفاتورة الشهرية لخدمة الهاتف الخلوي، على سبيل المثال، تتضمن نفقات استئجار الطيف الراديوي والأبراج الخلوية، وثمن جهاز الهاتف، إضافة إلى سداد الديون الناتجة من إقامة المحطات الخلوية، وتكلفة الوصلات بين المحطات الخلوية، ونفقات الفَوْترة، وأرباح مشغِّل الشبكة. إن هذه النفقات تُدفع في مقابل الاستثمارات التي يقوم بها مزودو الخدمة الخلوية لإقامة شبكات راديوية مكرَّسة وتشغيلها.

يمكن لهذه التكاليف أن تنخفض انخفاضا كبيرا، ولجودة الخدمة أن تشهد تحسنا عظيما، عندما يُطلَق الراديو الاستعرافي إلى الأسواق. انظر إلى جهاز الهاتف الخلوي القائم على أفضل تقانة متقدمة، والذي يُباع اليوم. إن أكثر من 1 جيگاهرتز من الطيف الترددي المفيد، لكنّ غير المستغَلّ استغلالا تاما، متاح لذلك الجهاز. لكنْ في أي لحظة، لا يستخدم الجهاز أكثر من 10 ميگاهرتز، أي واحد في المئة فقط مما هو متاح له. حتى إن ذلك الطيف يُختار من حصص طيفية ثابتة، عرض الواحدة منها نحو 100 ميگاهرتز فقط، تستطيع دارات الجهاز الولوج إليها.

يُضاف إلى ذلك أن الهاتف الخلوي المألوف يستخدم عدة مئات من ملايين التعليمات في الثانية من الطاقة الحسابية المكرَّسة، إلى حد بعيد، لمقاييس خلوية معينة. ومزوِّد الخدمة يقوم عادة بتحميل هذه المواصفات القياسية لأغراضه الخاصة، من قبيل تنقية البرمجيات من العلل، من دون أن تكون بالضرورة لمصلحة الزبون المباشرة. لكنّ ثمة أمر على صلة بالموضوع، إذ يمكن استخدام تلك الطاقة لتحميل برمجيات طرف ثالث تحميلا آمنا تسمح لجهاز الهاتف بالاتصال بشبكة لاسلكية محلية WLAN مجانا. وفي مؤتمر تقني حول الاتصالات النقالة في عام 2004، صرَّح موظف كبير في الشركة Motorola بأن الهاتف المعتمد على الشبكة WLAN صار مجديا تقنيا منذ سنوات، لكن مزودي الخدمة لا يرغبون في مثل هذا الجهاز. ولا عجب في ذلك، فمثل هذا الهاتف يمكن أن يتحول آليا إلى شبكات لاسلكية محلية مُشترَكة أثناء وقت العمل، حارما مزودي الخدمة من أجور ساعات كل يوم.

لكن عفريت الراديو الاستعرافي خرج من قمقمه. فدخول الراديو SDR الطيف الراديوي القليل الاستخدام، مع برمجيات التحكم التلقائي في الراديو الاستعرافي (والتي تعمل لمصلحة

(*) Can You Hear Me Now?



المستهلك)، يؤطران مسارا لأعمال صناعية وتجارية باتجاه اعتماد تلك التقانة.

توافر طيف حر[*]

باستثناء نطاق الترددات العالية، ونطاق الموجات الميكروية التي هي أعلى من 6 جيگاهرتز، فإن ثمة نحو 2.8 جيگاهرتز من الطيف الراديوي المخصَّص حاليا، والواقع بين 28 و 5600 ميگاهرتز، قليلة الاستخدام ومتاحة للراديو الاستعرافي (يُستنتج هذا التخمين من حساسية المستقبلات الاسمية ومن مستويات الربح في الهوائيات الموجودة حاليا) من ناحية أخرى، فإن نطق الهاتف الخلوي وخدمات الإنترنت اللاسلكية كثيرة الاستخدام في أغلب الأحيان. وثمة عدد هائل من الأدوات الإلكترونية الصغيرة، كمفتاحي باب السيارة وبوابة المرآب اللاسلكيين، والدمى المتحكَّم فيها راديويا، تستخدم تلك النطق الترددية لنقل البيانات مسافات قصيرة. ويمكن لحشد من المستخدمين، المُغرمين بنموذج طائرة متحكَّم فيه راديويا، مثلا، أن يُغرق الطيف بالانشغالية. يضاف إلى ذلك أن النطق الخلوية، التي تكون عادة شاغرة تقريبا في الساعة 3.30 فجرا، تُشغَل تماما في وقت ذروة الاتصالات عند الساعة 10.0 صباحا، أو أثناء العودة من العمل مساء، خاصة إذا كان ثمة ازدحام في حركة السير.

أما عند الترددات التي هي أعلى من 6 جيگاهرتز، فالرطوبة والأمطار والثلوج تمتص الإشارات الراديوية امتصاصا شديدا. حتى في الهواء الجاف، فإن الامتصاص يبلغ ذروته بالقرب من 20 جيگاهرتز و60 جيگاهرتز. ومع ذلك، فإن وصلات معينة قصيرة لنقل البيانات (تصنف عادة على أنها وصلات «المعسكر» أو وصلات «أعلى التل» العسكرية) تحقِّق حاليا معدلات إرسال بيانات من رتبة الميگابتة في الثانية على ترددات بجوار 34 و 70 جيگاهرتز. وقد مكّنت أخيرا قدراتُ الحاسوب المتنامية الأجهزةَ اللاسلكية، العاملةَ في هذه النطق العليا، من توفير عرض نطاق آني من رتبة الجيگابتة في الثانية ضمن مناطق تغطية صغيرة جدا، تسمى «**الخلايا البيكوية**» picocells. ويمكن لهذه التقانة أن تكون مفيدة أيضا للمستخدمين المتنقلين بالسيارات الذين يتصلون معا على الطرقات العامة، أو للمشاة، أو للنظم اللاسلكية الثابتة ضمن الأبنية.

يقول <J .L. ساندر> [وهو مرجع في النظم الراديوية لدى المعهد الملكي للتقانة في ستوكهولم]: «ليس هناك شُحّ في الطيف الراديوي، بل نقص في بنية الاتصالات التحتية التي يمكن تحمُّل تمويلها.» فأبراج الهاتف الخلوي وقنوات الاتصال مع الشبكة الهاتفية العامة ونظم الفَوْتَرة[1] وغيرها، تمثل العُمُد الحقيقية الباهظة التكاليف الضرورية للطيف المستأجر[2]. ومنذ تسعينات القرن العشرين، مع تقلص حجم جهاز الهاتف الخلوي، من «هاتف حقيبة» بحجم الآجرة، إلى جهاز من الطراز Motorola Star Tac، ومنه إلى جهاز اليوم المتعدد الوظائف الذي هو بحجم المحارة، كان بناء وصيانة بنية تحتية مكرَّسة هو الطريقة الوحيدة المتبعة. لكنْ في بداية عام 2005، عرضت الشركة Vanu Inc. أول محطة قاعدية لنظام الاتصالات العالمية عن طريق الهاتف الخلوي GSM[3]، تستخدم الراديو SDR، مع مبدل راديوي يجعل الإشارة الراديوية قابلة للمعالجة بوساطة حاسوب محمول عالي الأداء من دون شاشة أو لوحة مفاتيح. قبل 5 سنوات فقط، كان مبدِّل كود المحطة GSM، ووحدةُ تكيُّف معدَّل البيانات، وحدهما يحتاجان إلى مخدِّم مستقل خاص بهما استطاعة تشغيله تصل إلى عدة كيلوواط.

(*) Free Spectrum Abounds

(1) billing system: هو نظام يتابع استخدام الزبون لخدمات الشبكة ويجهِّز فاتورته اعتمادا على سعر الخدمة. وقد اتسع مفهوم هذا النظام ليشمل وظائف أخرى، من قبيل إدارة الزبائن والتكامل مع كوى الدفع والتحليل الإحصائي لاستخدام الشبكة.

(2) الطيف الترددي هو ملكية عامة، ولذا تستأجره شركات الاتصالات الخاصة من الدولة في الكثير من البلدان.

(3) Global System for Mobile communications: وهو المواصفة القياسية للهاتف الخلوي الرقمي الذي اعتُمد في أوروبا بوصفه أمرا واقعا. وهو اليوم أهم المواصفات القياسية الدولية للجيل الثاني من الهاتف الخلوي التي تتيح خدمة التجوال الدولي. (التحرير)



بالتنقل عبر الطيف، سوف يُكمل الراديو الاستعرافي إرساله على الرغم من التداخل والعوائق الأخرى، وذلك بالقفز بين الترددات حين توفرها.

لكنّ أثناء تلك المدة، أدت التطورات في أشباه الموصلات إلى تخفيض تكلفة المحطة القاعدية لتصبح موقعا خلويا صغيرا يمكن تحمل نفقاته، إذ يمكنها اليوم أن تكون حاسوبا محمولا أو منزليا.

تغيُّرات في الهواء(*)

لقد بدّلت ثورةُ تقانة الإلكترونيات الميكروية (الصغرية) والحاسوب الحدودَ الجوهرية **لعتاديات** hardwear الراديو أثناء العقد الماضي، مخفضة تكاليف البنية التحتية للنظم الخلوية إلى أقل من 1 في المئة من قيمتها السابقة. لكنّ تحسُّس أثر هذه التحولات في تقانة اللاسلكي المتقدمة وفي سوقها لم يبدأ إلا حاليا فقط.

في السنوات الأولى، كان التلفزيون التماثلي (الذي يستخدم عتادا مكرّسا ونطاقا ترددیا عرضه 6 میگاهرتز) أكبر مستهلك عملي للطيف الراديوي. أما اليوم، فإن التلفزيون الرقمي العالي الدقة ينقل بيانات بمعدلات تكافئ نحو 100 ميكابتة في الثانية ضمن نفس النطاق الترددي. من ناحية أخرى، يستطيع حاسوب محمول يَستخدم معالج بنتيوم من الشركة إنتل، توليدَ صور وأصوات باستخدم برمجيات ونسخة مرقمنة من إشارة التلفزيون التماثلية. تؤخذ من وحدة تبديل راديوي. ووحدة التبديل هذه تقوم بتغيير التردد الحامل في الإشارة الراديوية من تردد راديوي عند الهوائي إلى تردد وسيط تستطيع شيبة مبدِّل تماثلي رقمي تحويله إلى صيغة يمكن معالجتها برمجيا. وبذلك يمكن لشيبات التبديل التماثلي الرقمي العالية السرعة أن تستغل مئات الميگاهرتز من الطيف الراديوي في آن واحد. وبعض هذه الشيبات مزود **بدارات نظم إلكتروميكانيكية ميكروية MEMS** microelectromechanical system ـ وهي أشباه موصلات تَستخدم تجهيزات ميكانيكية حجمها من رتبة الميكرون ـ لتحقيق مكثف تماثلي للترددات الراديوية يمكن تغيير سعته رقميا. إن بطاقات الترددات الراديوية القائمة على الدارات MEMS تستطيع، عند إنتاجها بكميات كبيرة، التعامل مع عشرات الميگاهرتز من الطيف الراديوي، في أي نقطة بين 30 و 5600 هرتز، بنفس ثمن هاتف اليوم الخلوي.

لقد كانت تجهيزات الترددات العالية المعتمدة على الدارات MEMS بطيئة في نزولها إلى الأسواق، لأن تكلفتها أعلى من تكلفة مجموعة شيبات الترددات الراديوية الثابتة الأقل مقدرة. لكن قرارا رسميا، أصدرته وكالة الاتصالات الفدرالية FCC في عام 2004، مثَّل نقطة تحول في تفضيل تطوير الراديو الاستعرافي، ووفَّر حوافز جديدة للمصنعين لاعتماد المنتجات من الدارات MEMS. وأوصت تلك الوكالة باستخدام تقانة الراديو الاستعرافي للشبكات الخاصة المنخفضة الاستطاعة ضمن نطق التلفزيون غير المستخدمة. لقد حرَّر هذا القرار أكثر من 100 ميگاهرتز لاستخدامها في منتجات الراديو الاستعرافي الخاصة ببيئات المدن السائدة. إن ظهور الدارات MEMS الراديوية، وقرار وكالة الاتصالات الفدرالية، توحّدا معا للدفع باتجاه تشارك أكبر في الطيف في المستقبل القريب. فبالعمل في النطاقين المنخفض والمتوسط من الطيف الراديوي، يمكن لقناة واحدة أو لقناتين تماثليتين تستخدمان الدارات MEMS الراديوية، تكوين شبكات خاصة قصيرة المدى في أي نطاق ترددي يوافق المستخدمون، المرخَّص لهم، على استئجاره أو التشارك فيه أو مقايضته مع آخرين بنطق ترددية أخرى.

لذا يمكن لبطاقة راديو استعرافي مزودة بدارات MEMS راديوية أن تحول من هاتف خلوي إلى شبكة لاسلكية محلية، أو من حاسوب محمول إلى هاتف خلوي، أو من هاتف لاسلكي إلى «برج» لخلية بيكوية. ومن مثل هذه الخلية البيكوية، يمكن لحاسوب منزلي، مزوّد بنظام تحكم راديوي استعرافي، تأجير وقت الهواء إلى عابري السبيل، متقاضيا رسما مقابل نقل لاسلكي آمن للصوت والبيانات عبر مورد خدمة إنترنت مرتبط به.

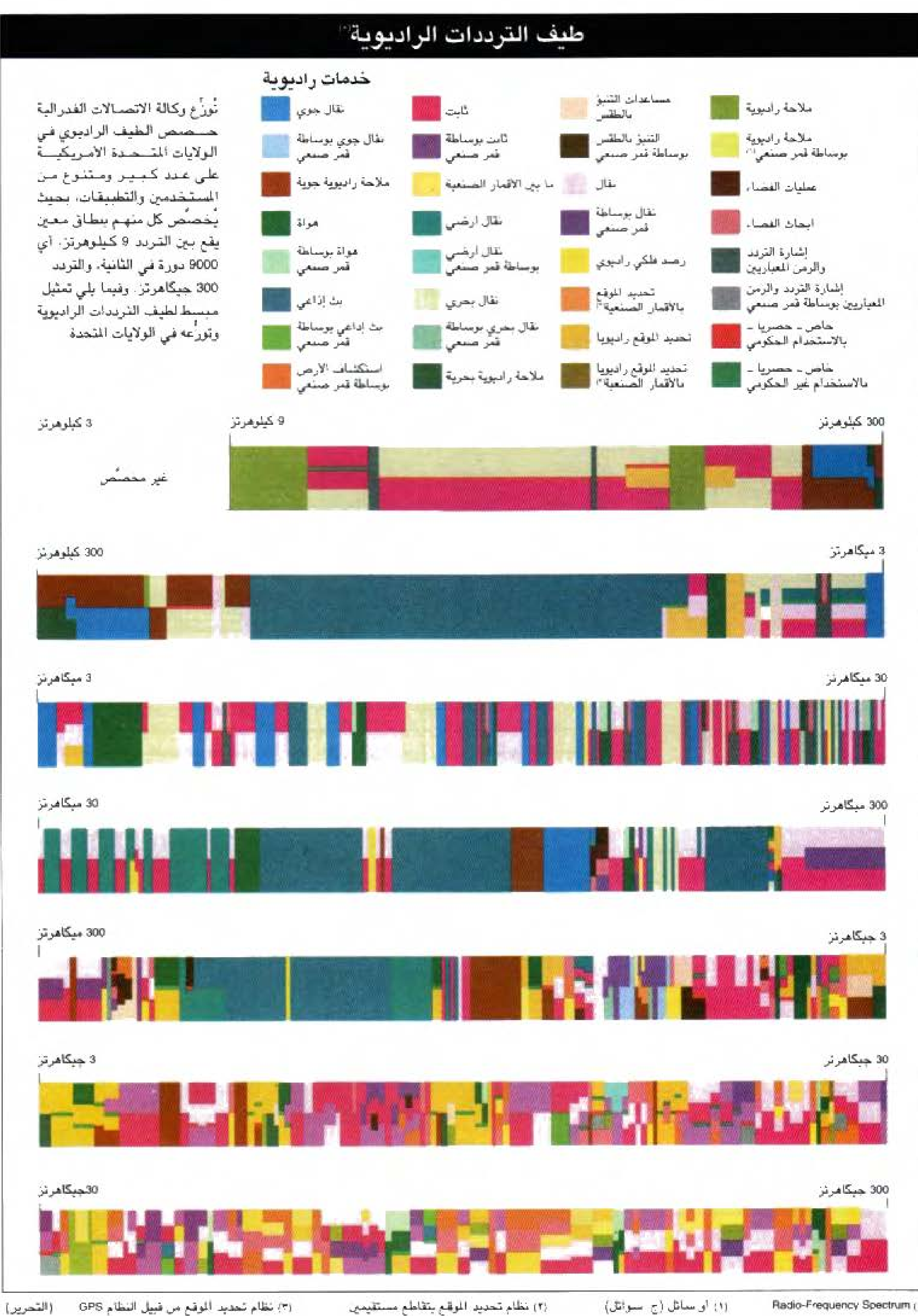
إعادة تشكيل الشبكة اللاسلكية(**)

في نظم الهاتف الخلوي التقليدية، يقبع معظم الذكاء، الضروري للتشغيل الفعّال، ضمن الشبكة. ومع أن التقانات الخلوية الحديثة تتسم بمقدرة أكبر على المعالجة، فإنها ليست في الواقع أكثر ذكاء بكثير من أسلافها. فالزبائن مازالوا يحتاجون إلى عقد يبرمونه مع مزود خدمة للحصول على

(*) Changes in the Air
(**) Remaking the Wireless Web

طيف الترددات الراديوية(*)

نُوزِّع وكالة الاتصالات الفدرالية حصص الطيف الراديوي في الولايات المتحدة الأمريكية على عدد كبير ومتنوع من المستخدمين والتطبيقات، بحيث يُخصَّص كل منهم بنطاق معين يقع بين التردد 9 كيلوهرتز، أي 9000 دورة في الثانية، والتردد 300 جيگاهرتز. وفيما يلي تمثيل مبسط لطيف الترددات الراديوية وتوزُّعه في الولايات المتحدة



(*) Radio-Frequency Spectrum
(1) أو ساتل (ج. سواتل)
(2) نظام تحديد الموقع بتقاطع مستقيمين
(3) نظام تحديد الموقع من قبيل النظام GPS
(التحرير)

النفاذ إلى الشبكة، ومنها إلى الشبكة الهاتفية العامة. وعلى النقيض من ذلك، تضع تقانةُ الراديو الاستعرافي الذكاءَ الضروري للاتصال مع الشبكات اللاسلكية ضمن جهاز الراديو أو الحاسوب المحمول أو المذكِّرة الشخصية اللاسلكية. ولأن نظام التحكم الاستعرافي يحكم قدرات الراديو المعرَّف برمجيا، فإنه يمكن للجهاز كشف فرص التشبيك الراديوي حيثما وُجِدت.

وفي الوقت الحالي، تحتوي 90 في المئة من الحواسيب المحمولة الجديدة على إمكانات الشبكة المحلية اللاسلكية. والشبكات المحلية اللاسلكية المنزلية والمهنية وما يتصل بها من مستجدات ساخنة، تتكاثر على نحو آسي. وسوف يحوي الراديو الاستعرافي الذكاءَ العملياتي الضروري لاستئجار أو استعارة شبكة محلية لاسلكية، أو طيف راديوي آخر، بسرعة، مدة ثوان أو دقائق في المرة الواحدة، مقابل «نقود طيف راديوي»، أيْ مقابل وعد مقطوع بإقراض قدرات الخلية البيكوية الخاصة بالراديو الاستعرافي إلى راديو استعرافي آخر في المستقبل. ومن نقاط النفاذ اللاسلكي هذه إلى الإنترنت، يمكن لمزود خدمة الإنترنت نقل بيانات المستخدم أو مكالمته إلى أي شخص في أي مكان في العالم. إن المرء يستطيع أن يرى هنا أن الراديو الاستعرافي لا يحتاج إلى شبكة خلوية مكرَّسة كي يصل مستخدما بوساطة اللاسلكي والإنترنت بتجهيزات أخرى. يضاف إلى ذلك أنه مع توسع تفاعلات الراديو الاستعرافي مع الإنترنت اللاسلكية، تتلاشى الحاجة إلى عقد طويل الأجل مع مزود خدمة خلوية.

معرفة راديوية مكانية(**)

حينما يستخدم المستهلك العادي شبكة لاسلكية قائمة على الإلكترونيات التجارية الحالية، يبذل النظامُ قصارى جهده لاستهلاك أقصى ما يستطيع من الطيف الشحيح، مشوشا في الوقت نفسه على أجهزة الراديو المجاورة. أما الراديو الاستعرافي، فسوف يكون ذكيا بقدر يكفي لإدخال قواعد، أيْ إجراءات تبادلية عملية، في عمليات استخدام الطيف الراديوي. وسوف يكتشف بذكاء الخلايا البيكوية المجاورة، ويتعامل معها لإبقاء المستخدم متصلا بوساطة الوسائل التي تخدم على أفضل وجه حاجاته التي يمكن أن تختلف باختلاف الأوقات والظروف.

لتحقيق هذه المهام، يحتاج الراديو الاستعرافي إلى عدة أمور. أولا، عليه أن «يعرف» كيف تتغيَّر الاستطاعة الراديوية التي يبثها مع المسافة على الأرض، وبين العوائق، وفي الهواء فوق الأرض. إن الهواتف الخلوية لا تحتاج إلى هذه المعلومات، لأن الشبكة الثابتة تستخدم طيفا راديويا مكرَّسا جرت معايرته سلفا وفقا لأنماط إشعاع الطاقة الموجودة. أما الراديو الاستعرافي، فيتحسَّس بدلا من ذلك كامل البيئة الراديوية المحلية، في النطق الترددية المنخفضة والمتوسطة والعالية، واضعا مخططا لتغيُّر خصائصها بدلالة الزمن والمكان والتردد. إن تطوير الراديو الاستعرافي الذي يتحسَّس الطيف سوف يتطلب تصميم محسَّات عالية الجودة، وخوارزميات عملية، بهدف تبادل بيانات رصد الطيف بين عقد الاتصالات المتعاونة. أما النظم التي تتميز باحتوائها على إمكانات تعدُّد الداخل وتعدُّد الخارج(1)، فسوف توجه الإرسالات في مسارات متعددة معقدة - مستفيدة من انعكاسات الإشارة عن أشياء مختلفة كالمباني والآليات - وتستبعد الإرسالات المتداخلة

جميع قنوات الاتصالات، جميع الأوقات(*)

يمكن ضمان اتصالات مسرح المعركة، وهي مفتاح للنصر في الحرب الحديثة، باستخدام تقانة الراديو الاستعرافي. ففي حين أن مختلف القوى ونظم الأسلحة تستخدم اليوم نظما راديوية قد تكون غير متوافقة، فإن تقانة الجيل القادم من الراديو الذكي يمكن أن تساعد القادة العسكريين على البقاء على صلة بآخر مستجدات الموقف في منطقة القتال، بوساطة وصلات في الزمن الحقيقي للصوت والصورة والبيانات تصل جميع القوى الصديقة معا على نحو موثوق، على الرغم من التداخل الناجم عن الضباب أو الحرب. ويمكن لنظم الراديو العسكرية المستقبلية استخدام تقانة الراديو الاستعرافي لإبقاء هذه الاتصالات الحاسمة حية.



(*) All Communications Links, All the Time
(**) Spatial Radio Knowledge
(1) multiple-input/multiple-output وهي تقنيات إرسال واستقبال حديثة يُستفاد فيها من تعدد نسخ الإشارة ذاتها، التي تصل إلى المستقبل عبر مسارات مختلفة، لزيادة نسبة الإشارة المستقبلَة إلى الضجيج
(التحرير)

المحتملة من أجهزة راديوية أخرى.

إن نظام الراديو الاستعرافي الكامل الوظائف سوف يكون ذكيا بقدر يكفي لتحسس «المشهد» الراديوي المحلي، ومن ثم اختيار النطاق الترددي ونمط العمل والخدمة التي يحتاج إليها، إضافة إلى تحميل بيانات الراديو SDR ذات الصلة بالنطاق والنمط المختارين؛ ويوجه بعدئذ طاقة الإرسال نحو المستقبل المقصود محققا في الوقت نفسه تداخلا أصغريا مع الأجهزة الأخرى، ومنها الاستعرافية. وبذلك يبدي مستوى عاليا من التنسيق الترددي الذي يحقق للمستخدم خصوصية الاتصال وأمنه.

ويمكن تحسين دقة هذه العمليات ببناء نماذج حاسوبية ثلاثية الأبعاد لكامل المشهد المحلي للمدينة تُخزن على أقراص صلبة سعتها من رتبة الجيگابايت، ويمكن النفاذ إليها لاسلكيا حسب الحاجة. إن التنبؤات بشدة الإشارة المستقبلة اعتمادا على هذه النماذج سوف تتيح لنظم الراديو الاستعرافي تجنب معظم التداخل. وبتوافر قنوات بث متفق عليها ـ تستطيع أجهزة الراديو الاستعرافي استخدامها في «الشكوى» من التداخل من دون التشويش على سواها ـ يمكن إغلاق حلقة القواعد الراديوية.

لكن ما يعقِّد فكرة قواعد الراديو الاستعرافي هو تغيُّر التداخل الإجمالي، الناجم عن البيئة، مع الزمن. إن ذلك التداخل يتضمن الضجيج الكهربائي الطبيعي (البرق)، وضجيج مولدات الطاقة الكهربائية، والمحركات الكهربائية، ونظم الإشعال في محركات السيارات، إضافة إلى إرسالات الأجهزة الراديوية. إن أثر هذه المصادر (المنابع) الراديوية يتغير مع الزمن. ففي الليل، مثلا، يكون عدد المصاعد العاملة صغيرا، ولذا تولد محركاتها الكهربائية ضجيجا قليلا. أما في وقت الازدحام، فيصبح ذلك الضجيج قويا. إن الطاقة الكلية التي تشعها تلك المصادر تكون أعظمية في مراكز المدن، وعند الساعة 10 صباحا تقريبا، وتكون فعاليتها أقل في المناطق الريفية، وفي الليل. ومع أن التعقيد الإحصائي لآثار مجمل هذه المصادر يجعل التنبؤ بها صعبا، فإن الراديو الاستعرافي سوف يتعلم أنماطها في المواقع المهمة (كمكان العمل والبيت) لمستخدمين معروفين.

مستقبل الراديو الذكي(*)

بعد تحديد أنماط تغيُّر الطاقة في كل نطاق، سوف تكون تجهيزات الراديو الاستعرافي قادرة على استخدام التقانة(1) [انظر: «الوب الدلالي»، العلوم، العددان 12/11 (2002)، ص 56] بغية تبادل تلك المعلومات مجانا مع الآخرين. فتلك المعلومات تساعد على استمثال عملية بحث كل وحدة عن طيف قليل الاستخدام يمكن استئجاره. وبهذا يمكن للراديو الاستعرافي تجنب التشويش على المستخدمين الآخرين، مع الإبقاء على بث استطاعة كافية لتجاوز التداخل المحيطي وتحقيق التعاون الخلاق.

إن القرارات التي تحكم مستقبل تقانة الراديو الاستعرافي هي قيد التبلور حاليا، من خلال الصراع القائم بين قطاعي أعمال عملاقين: صناعة الهاتف الخلوي والاتصالات من ناحية، و«صناعة الإنترنت» من الناحية الأخرى ممثلة بالشركات Microsoft و Intel و Google ومزودي خدمة الإنترنت وشركات الحاسوب الاستهلاكي. ومع أن المصالح الذاتية الراسخة قد تقاوم تقانة الراديو الاستعرافي، فإن التقدم باتجاهها يبدو ممكنا، لأنها تتجنب الفوضى وعدم المرونة النسبيين في استخدام النطق الراديوية غير المنظمة (من قبيل تلك المستخدمة في تجهيزات القياس والتجهيزات العلمية والطبية). وفي نهاية المطاف، سوف تحيل قواعد التشغيل الذكية القائمة على تقانة الراديو الاستعرافي جيگاهرتز من الطيف القليل الاستخدام إلى وسط اتصال عريض النطاق لكثير من المستخدمين.

وإذا استمر مشرِّعو وكالة الاتصالات الفدرالية في المسار الحالي، فإنهم سوف يحوِّلون نطق الطيف العريضة الوحيدة الاستخدام، إلى مئات من النطق، التي عرض كل منها من رتبة الميگاهرتز، والمتاحة للاستخدام التشاركي. إن شح الطيف الراديوي الذي ساد مدة طويلة، قد يحل محله فيض من الترددات المتاحة. وعوضا عن أن يحتاج هاتف خلوي إلى دقيقة لتحميل صورة مضغوطة حجمها من رتبة الميگابكسل(2)، قد يستطيع أن يتعامل مع عشر صور من هذا القبيل في الثانية.

وتماما كما قاد انبثاق تقانة الهاتف الخلوي إلى نتائج اجتماعية ومهنية كثيرة، فإن اعتماد الراديو الاستعرافي سوف يبعث على تغيرات مشابهة، ترافق استغلال التجهيزات المتقدمة للشبكة اللاسلكية لتحل محل الهواتف الخلوية التي أصبحت الآن قديمة إلى حد ما. إن نمو الراديو الاستعرافي سوف يستغرق وقتا، لكن تأثيره في حياتنا جميعا سوف يكون كبيرا. ■

(*) The Future of Smart Radio

(1) الشبكة Semantic Web هي مشروع يهدف إلى إعطاء محتوى الوثائق في شبكة الإنترنت معنى مفهوما للآلة، بغية الاستعاضة بالآلة عن الإنسان في البحث عن المعلومات.

(2) pixel: أي عنصر صورة (عنصورة)، ويتمثل بنقطة واحدة منها. (التحرير)

المؤلف

Steven Ashley

عضو هيئة تحرير مجلة ساينتفيك أمريكان

مراجع للاستزادة

Cognitive Radio Shows Great Promise. Bruce Fette in *COTS Journal*; October 2004. **www.cotsjournalonline.com/home/article.php?id=100206**

Berkeley Wireless Research Center Cognitive Radio Workshop, November 1, 2004. **bwrc.eecs.berkeley.edu/Research/MCMA/**

Cognitive Radio Architecture. Joseph Mitola III. John Wiley & Sons, April 2006.

European Community's End-to-End Reconfigurability (E2R) radio project: **phase2.e2r.motlabs.com**

Joseph Mitola's Web site is at the KTH (Royal Institute of Technology, Sweden): **www.it.kth.se/~jmitola**

Software Defined Radio Forum: **www.sdrforum.org**

Scientific American, March 2006

أهداف جديدة محددة للأدوية[*]

هناك صنف مألوف من مُسْتَقْبِلات سطح الخلية[1] يفضي إلى عرض منظومة من الاستهدافات الحديثة التي يمكن أن تفسح المجال أمام معالجات جديدة لاضطرابات تراوح من عدوى ڤيروس العَوَز المناعي البشري[2] حتى السمنة[3].



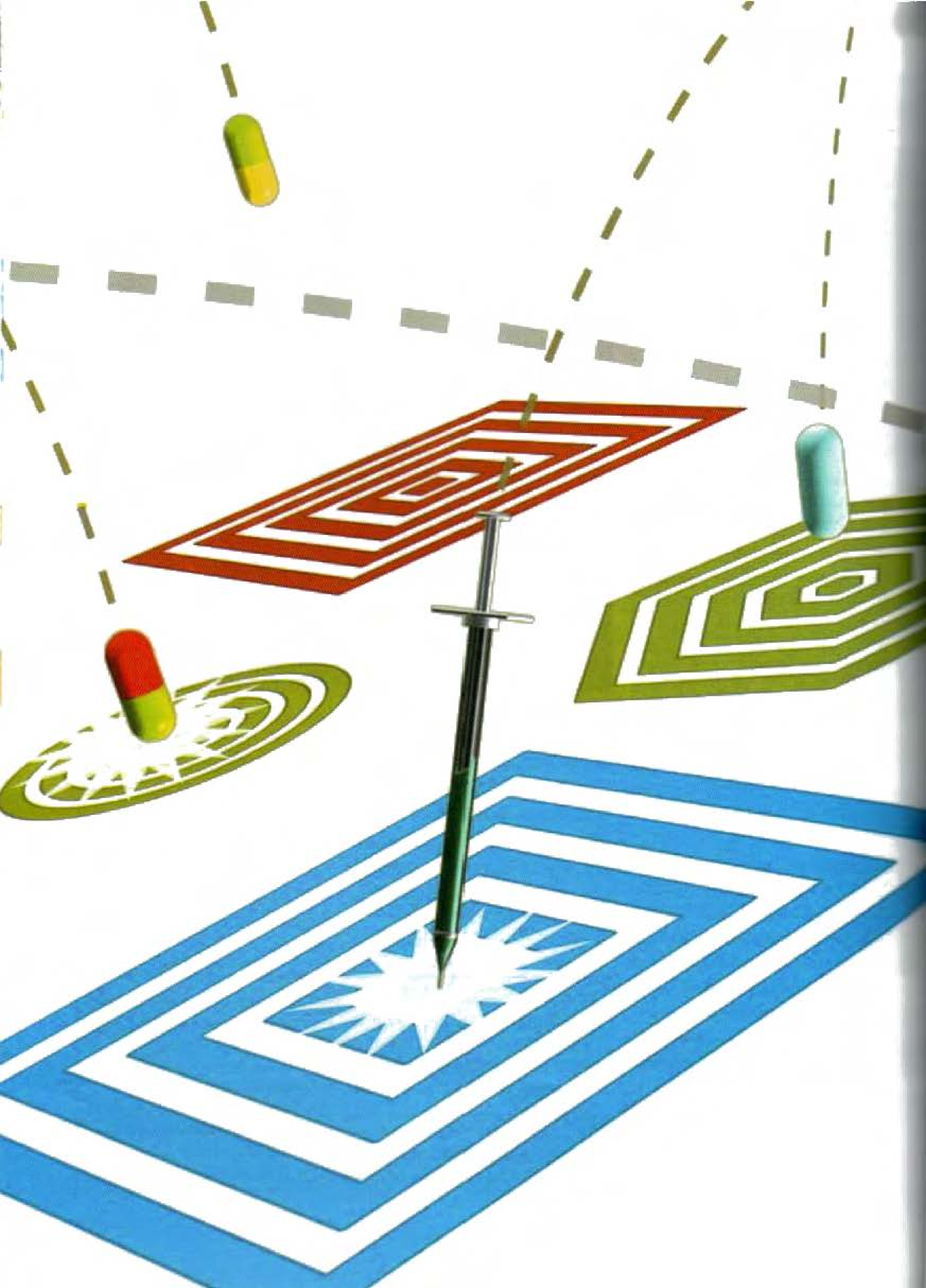
<T. كيناكين>



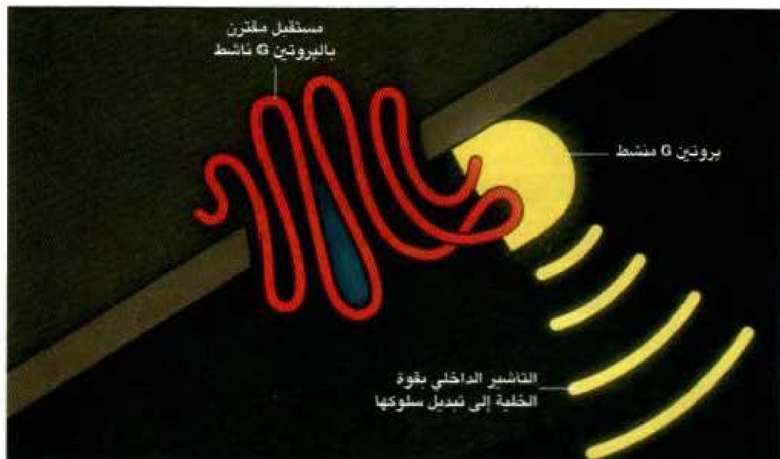
يتميز جزء لا يستهان به (تقريبا النصف) من الأدوية الموصوفة اليوم بتشابه مذهل على المستوى الجزيئي. وتؤثر هذه الأدوية في النمط نفسه للهدف target: **بروتين مُتَطَوٍّ** serpentine protein يتموج سبع مرات عبر الغشاء الذي يغلف الخلية. الأجزاء الخارجية لكل **مُتَطَوِيَة** (حَيَّة) serpent تخدم **كقرن استشعار** antena **للإشارات** signals الجزيئية التي تقترب من الخلية، في حين تطلق الأجزاء الداخلية زناد الاستجابات لمثل هذه الإشارات، حيث تكون البداية تنشيط **مُعالج الإشارة** signal processor الذي يدعى **البروتين G**. وهكذا تُعرف المتطويات هي نفسها بأنها **المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G** G-protein coupled receptors (GPCRs).

تبدي المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs)، كمجموعة بحد ذاتها، إمكانية للاستعمال المتعدد الجوانب أكثر من أي صنف آخر من مُسْتَقْبِلات سطح الخلية. وفي هذا الإطار، يراوح حجم الجزيئات الطبيعية التي ترتبط بالمُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G، من حجم **النواقل العصبية** neurotransmitters (التي تعد كتلتها أكبر بعدد قليل من المرات من كتلة ذرة كربون مفردة) حتى البروتينات (التي تعد أكبر بـ75 مرة من ذلك). إضافة إلى ذلك، تُسهم المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G في جميع وظائف الجسم التي تديم الحياة، من ضربات القلب والهضم إلى التنفس والنشاط الدماغي. وتُعد الأدوية التي تستهدف هذه المُسْتَقْبِلات متنوعة بمقدار تنوعها. وتشمل القائمة خافضات ضغط الدم (مثل البروپرانولول propranolol) ومضادات حموضة المعدة (مثل الرانيثيدين ranitidine) وموسعات القصبات (مثل البوتيرول

(*) NEW BULL'S-EYES FOR DRUGS
(1) cell-surface receptors
(2) HIV infection
(3) obesity







المُستَقبِل المقترن بالبروتين G (GPCR)، الذي ينطوي عبر غشاء الخلية سبع مرات، لا يصدر أية رسائل إلى داخل الخلية (*الصورة العليا*) حتى يرتبط جزيء مُؤشِّر signaling، مثل هرمون أو أي ناقل عصبي، بمنطقة تسمى المقر الناشط (الموضع الفعال). وبسبب هذا الارتباط (*الصورة السفلى*) بالمُستَقبِل تنشيط (تفعيل) جزيء معين يسمى البروتين G، الذي يطلق بدوره سلسلة من التأثرات داخل الخلية intracellular interactions مما يؤدي في النهاية إلى إحداث تبدل في سلوك الخلية. وثمة تصورات جديدة للعمل الوظيفي للمُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G توحي بظهور وسائل وسُبل جديدة لمعالجة المرض.

albuterol) ومضادات الاكتئاب (مثل الباروكسيتين paroxetine). وتشمل الاضطرابات التي تعالجها هذه الأدوية ارتفاع ضغط الدم وقصور القلب الاحتقاني والقرحة والربو والقلق والتحسس (الأرج) والسرطان والشقيقة وداء باركنسون.

وعلى نحو لا يصدق، تعمل جميع الأدوية المستهدفة للمُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G وفق إحدى طريقتين ـ فهي إما أن ترتبط بمنطقة قرن استشعار المُستَقبِل (يُعرف أيضا باسم المقر الناشط[1]) وتحاكي بذلك تأثير الناقل العصبي الطبيعي، أو الهرمون أو أي جزيء آخر يعطي على نحو طبيعي إشارات عبر المُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G، أو أنها تتدخل في مقدرة **المؤشِّر**[2] signaler على التأثير في قرن الاستشعار. خلال الخمسة عشر عاما الماضية، ثمة ثورة تقانية زودت الباحثين بعيون جديدة يستطيعون أن يروا من خلالها المُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G أثناء العمل الوظيفي. وتبعا لذلك، بزغت طرق أخرى من **مناولة** manipulating أنشطة المُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G. وقد بدأ استثمار هذه الطرق بهدف استكشاف الدواء. وبكلمات أخرى، رغم وفرة الأدوية المعروفة سابقا بتأثيرها في هذه المُستَقبِلات الساحرة، ثمة عدد كبير منها قد يكون كامنا. وإن البحث عن مثل هذه الأدوية مازال في المراحل المبكرة، لكن هناك **عوامل** (أدوية) agents، هي الآن في طور متقدم في التجارب البشرية منها تلك الخاصة بالإصابة بعدوى الڤيروس HIV المسبب لمُتلازِمة العَوَز المناعي المُكتسب الإيدز (AIDS).

للشكل أهمية[**]

حتى قبل نحو 10 سنوات، اعتقد الباحثون عن الأدوية أنه بغية التأثير في نشاط المُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G كان يجب البحث عن الأدوية التي تؤثر في المقر الناشط للمُستَقبِل. فأثناء العمل الطبيعي للجسم، ثمة ناقل عصبي أو أي جزيء آخر حامل للمعلومات (أو «**لجين**» ligand، جزيء يلتحم بجزيء آخر) على السطح الخارجي للخلية يقوم على نحو أساسي بدور «**المفتاح**» key «**لقُفْل**» lock المقر الناشط. وهكذا فإن المادة التي تحجب القُفْل lock يمكن أن تمنع

نظرة إجمالية/ أهداف دوائية جديدة[*]

- تنقل البروتينات التي تسمى المُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) والتي تتوضع على سطح الخلية، إشارات من هرمونات معينة ومشابهاتها إلى داخل الخلية من خلال تنشيط (تفعيل) البروتينات G؛ التي هي مُعالِجات للإشارة تقع تحت غشاء الخلية مباشرة.
- إن قُرابة نصف الأدوية الموجودة في السوق التجارية تؤثر في المُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G، بالارتباط بالمقرات sites المستهدفة بشكل طبيعي من قبل المؤشرات signalers البرانية (الخارج خلوية) والخاصة بالجسم.
- خلال السنوات العشر الماضية، توصل الباحثون إلى أن نشاط المُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G يمكن أن يُحَوَّر بوساطة مركبات ترتبط بمقرات أخرى في بنية تلك المُستَقبِلات المقترنة بالبروتين G. وقد فتح هذا الاكتشاف إمكانيات جديدة لمعالجة السرطان واضطرابات رئيسية أخرى.

(*) Overview/New Drug Targets
(**) Shape Matters
(1) active site، أو الموضع الفعال.
(2) جزيء يعطي إشارات.

مرور أية إشارات (إيعازات) غير مرغوبة عبر المُسْتَقْبِل بوساطة أي مفتاح كان. فتقوم هذه المادة بدور **مثبِّط** inhibitor. وعلى العكس، فإن الشيء الذي يحاكي **اللَّجين الطبيعي** natural ligand يمكن أن يفتح القُفل، ومن ثم أن يأخذ مكان المفتاح الطبيعي إذا كان هذا المفتاح غير موجود.

وهكذا اعتقد العلماء أن الطريقة الأفضل لإثارة استجابة فيزيولوجية هي في اختيار مركب **يتآثر** interaction مع **شكل نوعي** specific form لأي مُسْتَقْبِل ولكنه **يتجاهل المتغيرات** variants الأخرى [الأشكال الأخرى لهذا المُسْتَقْبِل]. مثلا، يُنشِّط الناقل العصبي «النورإيفدرين» نمطين من المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G التي تسمى **المُسْتَقْبِلات الأدرينالية** adrenoceptors ألفا وبيتا، حيث يكون للأولى أربعة **نُميطات** subtypes وللثانية ثلاثة. وبدورها تقوم هذه المُسْتَقْبِلات المتنوعة بالسيطرة على العديد من العمليات الداعمة للحياة. ففي مستوى القلب، تسرِّع المُسْتَقْبِلات الأدرينالية بيتا$_1$ معدل سرعة القلب وتزيد قوة كل **ضربة** beat؛ وفي مستوى الرئتين، توسِّع المُسْتَقْبِلات بيتا$_2$ المسالك الهوائية. ولهذا، بغية فتح المسالك الهوائية من دون أية تأثيرات غير مرغوبة في القلب، يمكن لصانعي الأدوية أن يبحثوا عن عامل (دواء) يحاكي مقدرة النورإيبنفرين norepinephrine بتنبيه المُسْتَقْبِلات الأدرينالية بيتا$_2$ لكن من دون الارتباط بالمُسْتَقْبِلات الأدرينالية بيتا$_1$.

فعليا، يعمل العديد من الأدوية مثبِّطات أو **ناهضات** agonists (**محاكيات** mimics) من خلال التآثر مع المقر الناشط لأحد المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G النوعية. لذا فإن أي استراتيجية خاصة لتطوير الدواء سوف يجب عليها أن تتعامل مع **الطبيعة «المتفارغة»**[1] allosteric nature للمُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G. إن شكل shape أحد أقسام المُسْتَقْبِل يمكن أن يؤثر في **الهيئة الحيّزية (البنية الفراغية)** conformation، ومن ثم في نشاط قسم آخر بعيد عنه.

باستمرار تتخذ المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G أشكالا مختلفة نوعا ما، مشكلة ما يطلق عليه **مكتبة الهيئات** library of

الأدوية المُسوَّقة تجاريا والتي تعمل على المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G(*)

تعد الأدوية المذكورة أدناه عينة فقط من المركبات المسوقة تجاريا والتي تستهدف المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G؛ إنها تعمل على مُسْتَقْبِلات متنوعة.

الاسم التجاري (الاسم الجنيس) والشركة الصانعة	التأثير
Allegra (fexofenadine) Aventis	يُحصر فعل الهيستامين، من أجل مكافحة الاستجابات التحسسية (الأرجية)
Duragesic (fentanyl) Janssen	يفرِّج الألم
Flomax (tamsulosin) Boehringer Ingelheim	يخفف أعراض البروستاتة المتضخمة
Imitrex (sumatriptan) GlaxoSmithKline	يخفف ألم الشقيقة (الصداع النصفي)
Lopressor (metoprolol) Novartis	يخفض الضغط الدموي
Oxycontin (oxycodone) purdue	يفرج الألم
Pepcid (famotidine) Merck	يضاد حموضة المعدة
Phenergan (promethazine) Wyeth	يُحصر الهيستامين
Serevent (salmeterol) GlaxoSmithKline	يفتح المسالك الهوائية
Singulair (montelukast) Merck	يكافح التهاب المسالك الهوائية
Sudafed (pseudoephedrine) Pfizer	يخفف احتقان الأنف
Zantac (ranitidine) GlaxoSmithKline	يضاد حموضة المعدة
Zyrtec (cetirizine) Pfizer	يُحصر الهيستامين
Zyprexa (olanzapine) Eli Lilly	يخفف أعراض الذُّهان المتعددة

conformations. فعندما يرتبط أي جزيء مُؤشِّر بالمقر الناشط، فإنه يثبِّت التراتبية التي تفعِّل البروتينات G. ولكن ظهر أن بعض الجزيئات، المعروفة **بالمحوِّرات المتفارغة** allosteric modulators، تستطيع أن ترتبط في مكان آخر فتؤثر في **الشكل** form **والنشاط** activity. يثبت البعض منها (الجزيئات) أشكال المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G التي تعزز **التأشير** signaling، في حين تقوم جزيئات أخرى بتثبيت الأشكال التي تعوق التأشير (على سبيل المثال يمكن أن يتحقق ذلك من خلال طمر المقر الناشط، بحيث يتعذر على **لجينه** ligand الطبيعي الوصول إليه).

تُعد **نتائج** implications هذا الأمر عميقة. فالمُسْتَقْبِل الكامل يستطيع نظريا أن يقدم مواضع ارتباط، بحيث يمكن لجزيء شديد الصِّغر أن يثبت شكلا معينا يمكنه أن يعطي تأثيرا بيولوجيا. وهذه الخاصية توسِّع على نحو كبير أفق **التعديلات العلاجية** therapeutic modification لوظيفة المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G.

يُعدّ الباحثون في مُتلازِمة العَوَز المناعي المكتسب (الإيدز) من بين أولئك الذين يتابعون على نحو فعال المدى المحتمل للمحوِّرات المتفارغة، إذ يحاولون إيجاد تلك المحورات القادرة على **إحصار** block فيروس العَوَز المناعي البشري ومنعه من **إعداء (إخماج)** infecting الخلايا. لقد عرف البيولوجيون قبل أمد طويل أن الفيروس يهاجم الخلايا التي تسمى **اللمفاويات التائية المساعدة** helper T lymphocytes من خلال الالتصاق ببروتين يوجد على سطح الخلية يسمى CD4. لكن هؤلاء الباحثين توصلوا في التسعينات إلى أن هذا البروتين لم يكن يعمل بمفرده.

فبغية دخول الخلايا، يجب على الفيروس أيضا أن يرتبط **بمُثبِّت** anchor إضافي: مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G يُعرف باسم CCR5 [أو في مرحلة **العدوى** infection المتأخرة، ثمة مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G يدعى CXCR4]. وعادة ما يستجيب المُسْتَقْبِل CCR5 إلى أيٍّ من **المنشطات الكيميائية (الكيموكينات)** chemokines الثلاثة، التي هي إشارات طبيعية تستطيع جذب خلايا الجهاز المناعي إلى مقر العدوى. ولكنه لسوء الحظ، يقدم أيضا **صنّارة** hook لبروتين غلاف الفيروس

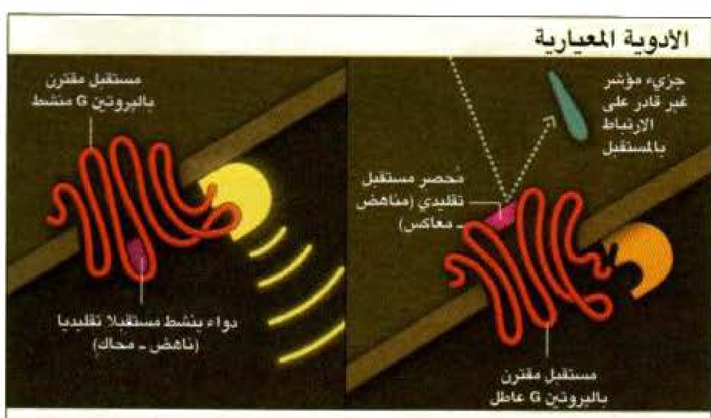
(*) Marketed Drugs Acting on GPCRs

(1) وجود نُميطات عديدة لأحد البروتينات، أو لأي **ركيزة** substrate يؤدي التفاعل مع أحدها إلى تعديل فعالية البروتين أو وظيفته. (التحرير)

مسارات عديدة للهجوم(*)

تستهدف معظم الأدوية المتوافرة في الأسواق التجارية المقر الناشط لبعض مُستقبِلات سطح الخلية، والعديد من هذه الأدوية يستهدف المقر الناشط لمستقبل مقترن بالبروتين G نوعي (في الأسفل). وكذلك فإن الجزيئات molecules الفاعلة في المناطق خارج المقر الناشط تستطيع أيضا أن تؤثر في نشاط المستقبل المقترن بالبروتين G (في اليسار). وثمة دراسات حديثة عززت الأمل بأن الجزيئات الصغيرة التي تستهدف تلك المقرات الإضافية يمكن إعطاؤها بغية تنشيط أو تهدئة المستقبلات المقترنة بالبروتين G المكثفة في أمراض متنوعة.

الأدوية المعيارية



الأدوية التي تؤثر في المستقبلات المقترنة بالبروتين G تتناسب حاليا في أغلب الأحيان مع المقر الناشط، فهي إما أن تحاكي تأثير الجزيء المؤشر الطبيعي (في اليسار) أو تمنع المؤشر الفطري native signaler من الارتصاف مع المستقبل ومن ثم من التأثير في الخلية (في اليمين).

المحورات المتفارغة

محورات
متفارغة

مستقبل مقترن
بالبروتين G
عاطل (غير فعال)

مقر ناشط
غير متاح

هذه العوامل تُرسخ هيئة conformation كل مستقبل مق
بالبروتين G (GPCR) بطريقة تعزز (غير ظاهرة) أو تنقص
(الأعلى) نشاط المستقبل، وذلك بجعل المقر الناشط غير متا
للجزيء المؤشر signaling molecule.

(gp120). ففي الواقع، يبدو حاليا أن المستقبل CCR5 هو لاعب مركزي في الإصابة بعدوى فيروس العَوَز المناعي البشري: فالأشخاص الذين تفتقر بنيتهم الوراثية إلى الشكل الوظيفي لهذا المُستَقْبِل ينزعون ليكونوا مقاومين بشكل غير اعتيادي لفيروس العَوَز المناعي البشري.

وهناك محورات متفارغة عديدة تمتلك المستقبل CCR5، إلا أنه شكل غير ملائم للارتباط بالبروتين gp120 الخاص بفيروس العَوَز المناعي البشري، وقد بلغت هذه المحورات مرحلة التجارب البشرية. إن إحصار تأثر المُعقَّد gp120-CCR5 complex بإعطاء هذه الأدوية البالغة الصِّغَر يُعد إنجازا مشابها، في المضاهاة الجيوفيزيائية، إلى جزيرة بحجم جزيرة فيجي Fiji تمنع التقاء جزيرتين بحجم أستراليا معا. وبمعنى مجازي أكثر، إذا كانت مثل هذه الأدوية بحالة العمل فإنها ستكون بمثابة «ديفيد» الذي يتغلب على العملاق Goliath.

ما وراء ضبط الشدة(**)

تعتمد التأثيرات التي تنتجها المُستَقْبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) ليس فقط على الجزيئات الخارجية التي ترتبط بها، بل أيضا على عدد نُسخ copies المُستَقْبِلات السهلة المنال على سطح الخلية. وبقدر ما هو متوقع، عندما ترتبط المؤشرات من خارج الخلية بالعديد من نُسخ أي مُستَقْبِل، تتلقى الخلية عندئذ رسالة «أشد»، وتخضع إلى تبدل أكبر في سلوكها مما هي الحال عندما يكون عدد قليل من نُسخ هذا المُستَقْبِل مرتبطا. لكن عدد المُستَقْبِلات يمكنه أن يفعل أكثر مما هو متعلق بضبط الارتفاع أو الشدة. إنه يستطيع فعلا أن يؤثر في أي من أنواع البروتينات G العديدة الذي يُصبح مُنبَّها، ومن ثم يمكنه تنشيط المسالك البعيدة (شلال التأثرات الجزيئية cascade of molecular interactions) داخل الخلية.

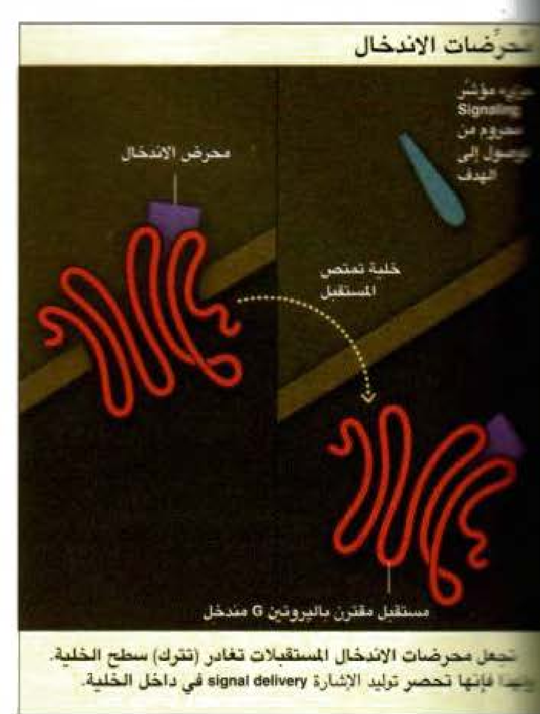
توجد البروتينات G في أربعة أصناف رئيسية، مع وجود نُمَيْطات في كل صنف. ولكل منها نزعة مختلفة للعمل مع أي مُستَقْبِل مقترن بالبروتين G معين. ومن جهته فإن أي مُستَقْبِل مقترن بالبروتين G قد لا يكون ناشطا على نحو متعادل تجاه جميع البروتينات G. وهكذا فإن محتوى قليلاً لمُستَقْبِل معين سيؤدي إلى تنشيط البروتين G الأكثر حساسية له فقط، في حين يؤدي توافرٌ أكبر لهذا المُستَقْبِل إلى استجابات من العديد من البروتينات G. وهذا قد يثير سلوكا خلويا مختلفا.

وتبعا لذلك، لن يُرى أي مُستَقْبِل مقترن بالبروتين G معيَّن على أنه فقط مفتاح وُصْلة مفصلية toggle switch قد وُضع قيد العمل بتأثير أي هرمون أو أي ناقل عصبي وأوقف عن العمل عندما تنفصل الإشارة الطبيعية عن مقر ارتباطه، فهو وحدة معالجة معلومات مُعقدة.

نظريا، يمكن أن يتولد تنوع في طُرز استجابات أي مُستَقْبِل مقترن بالبروتين G

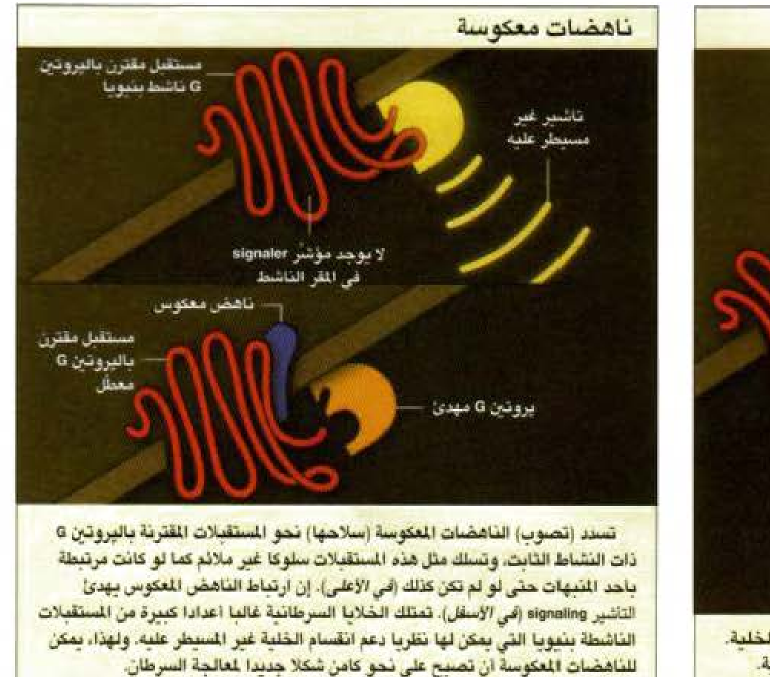
(*) Many Avenues of Attack
(**) Beyond Volume Control

...حرضات الاندخال



...تجعل محرضات الاندخال المستقبلات تغادر (تترك) سطح الخلية. ...فإنها تحصر توليد الإشارة signal delivery في داخل الخلية.

ناهضات معكوسة



تسدد (تصوب) الناهضات المعكوسة (سلاحها) نحو المستقبلات المقترنة بالبروتين G ذات النشاط الثابت، وتسلك مثل هذه المستقبلات سلوكا غير ملائم كما لو كانت مرتبطة بأحد المنبهات حتى لو لم تكن كذلك (في الأعلى). إن ارتباط الناهض المعكوس يهدئ التأشير signaling (في الأسفل). تمتلك الخلايا السرطانية غالبا أعدادا كبيرة من المستقبلات الناشطة بنيويا التي يمكن لها نظريا دعم انقسام الخلية غير المسيطر عليه. ولهذا، يمكن للناهضات المعكوسة أن تصبح على نحو كامن شكلا جديدا لمعالجة السرطان.

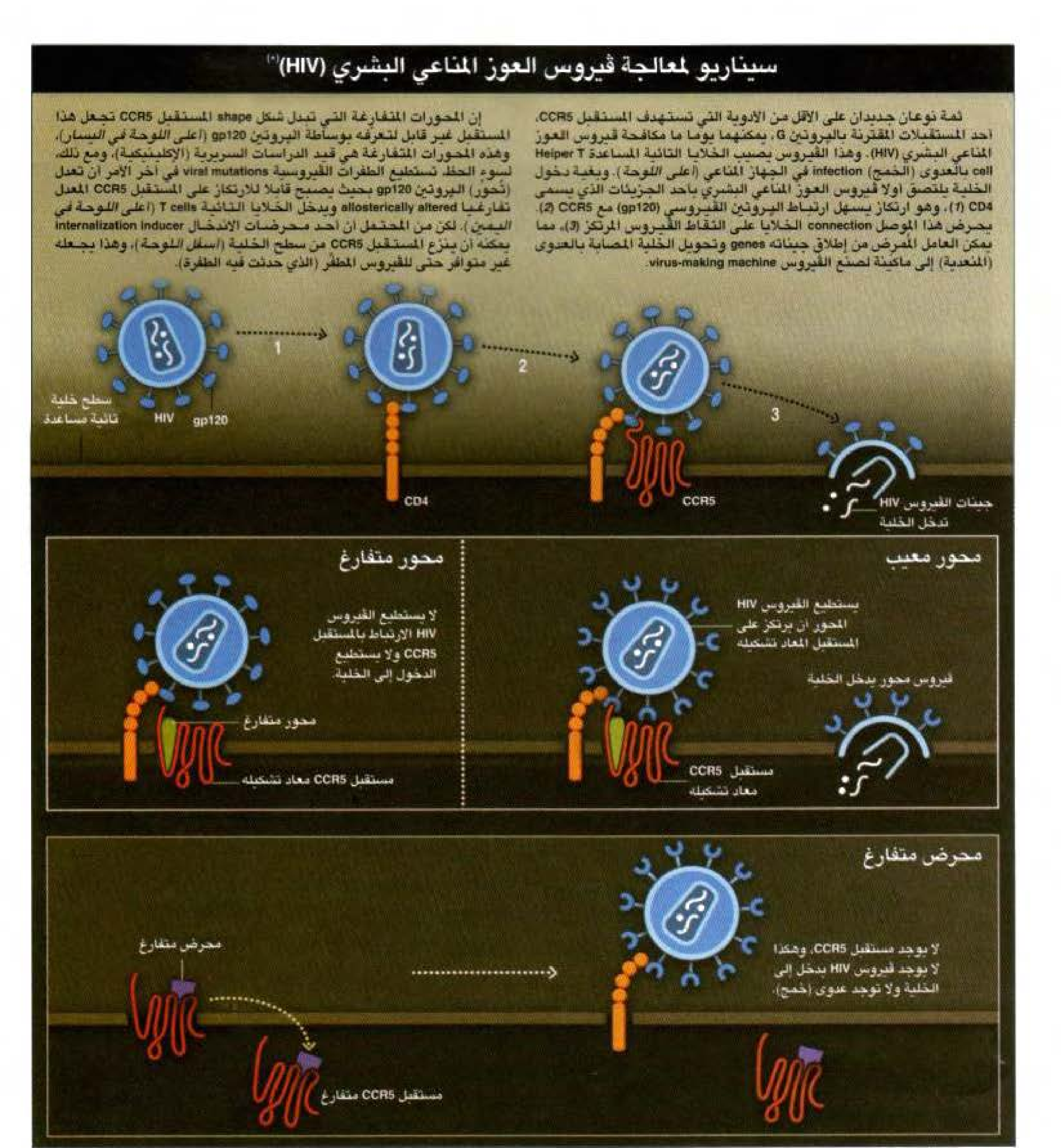
اعتمادا على كل من مجال **اللُّجائن** ligands الذي يستطيع اكتشافه وعلى مزيج أنواع البروتين G الذي يستطيع تنشيطه. على سبيل المثال، إذا استطاع أي مُسْتَقْبِل أن يكتشف أيا من الإشارات الثلاث المختلفة واستطاع أن ينشط واحدا أو اثنين أو ثلاثة أو جميع البروتينات G الرئيسية الأربعة (كما هي حالة المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G الذي يستجيب للثيروتروبين thyrotropin: هرمون **الغدة النخامية** pituitary الذي ينبه الغدة الدرقية)، فإن المُسْتَقْبِل يكتسب **المقدرة (السعة)** capacity النظرية على إظهار عشرات من أشكال السلوك. في كل مرة؛ في حين أنه لو كان [المُسْتَقْبِل] يُرى على أنه مفتاح وصْلَة مفصلية، فلن يكون له إلا وظيفتان فقط.

وتوضح الأبحاث أيضا أن الأدوية تستطيع الاستفادة من هذا التعقيد في وظيفة المُسْتَقْبِل. فيمكن لمواد معيَّنة أن تُمكِّن المُسْتَقْبِل من أن يمتلك أشكالا مختلفة ناشطة بيولوجيا، يمكن لكل منها أن يتآثر مع بروتين G مُعيَّن أو مع توليفة من بروتينات G. وهذا يطلق الزناد لبدء نشاط سُبل ومسالك خلوية متشعبة. ويجب أن تُعطي قيمة كبيرة أيضا للعوامل (الأدوية) التي تجعل الخلايا تزيد أو تنقص كمية المُسْتَقْبِلات على سطحها، بدلا من تعديل نشاط المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G بحد ذاته.

يمكن متابعة هذه الاستراتيجية الأخيرة لأجل مكافحة فيروس العَوَز المناعي البشري. وإحدى المشكلات التي يمكن أن تنشأ عن التعويل على المحوِّرات التفارُغية لمنع بروتين الغلاف الفيروسي من إيجاد مقر ارتصافه على المستقبل CCR5، هي أن الفيروس **يتطفر** mutate على نحو سريع. وقد تقود إمكانية **التطافر** mutability هذه إلى تخليق **بروتين غلاف** coat protein يمكن أن يرتبط بمستقبل CCR5 **مُبدَّل تفارُغيا** allosterically altered. وثمة طريقة معقولة لتجنب هذا التهديد، تكمن في التخلص من هذا المُسْتَقْبِل من سطح الخلية. وهكذا يُحرم الفيروس من نقطة هجومه.

وبالمقارنة مع المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G الأخرى جميعها، فإن المستقبل CCR5 تُحَلِّقه الخلية على نحو لا نهاية له، ويستقر على السطح ثم ينسحب إلى الداخل **للتدرُّك (للتقوض)** degradation أو **للتدوير** recycling. وهناك بعض المنشطات الكيميائية (الكيموكينات) المعروفة بتعزيز **اندخال** internalization المستقبل CCR5. وتسمح هذه الملاحظة بظهور إمكانية إيجاد عوامل فارماكولوجية (دوائية) لا تسرع فقط نزع أو إزالة المستقبل CCR5 من سطح الخلية، بل أيضا تخدم كمعالجات لا يمكن للفيروس أن يتكيف معها، إذ إنه لا يوجد تبدُّل يمكن أن يخضع له فيروس العَوَز المناعي البشري يُمكِّنه من التثبُّت (التمسُّك) على المستقبل CCR5 إذا كان هذا المُسْتَقْبِل قد نُزِع من سطح الخلية.

(١) الفتح والإغلاق



إيقاف التأثير الارتدادي(**)

يمكن أن تبدي المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G، بعيدا عن كونها قابلة للسيطرة بوساطة المحورات التفارُغية، سلوكا بيولوجيا مهما آخر، يُعرف على أنه **نشاط بنيوي** constitutive، وهذا يعني أنها تُنَشَّط أحيانا البروتينات G حتى من دون أن «يطلب إليها» **لجين رابط** bound ligand فعل ذلك. فكما هو وارد في الأنماط الأخرى للأداء الوظيفي للمُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G، فإن هذا النشاط البنيوي ينشأ عن **شكل** shape خاص من الأشكال التي يتخذها المُسْتَقْبِل receptor's repertoire. ومع ذلك، فإن هذه **الهيئة** conformation هي واحد من تلك الأشكال التي نادرا ما يتخذها المُسْتَقْبِل. وتبعا لذلك فإن عدد الجزيئات التي تتبنى هذه الهيئة، تحت ظروف طبيعية، سيكون قليلا جدا، وهكذا سيكون لها تأثير صغير في السلوك الكلي للخلية وسيكون من الصعب كشفها. ولكن في حال أصبحت

(*) A Scenario For HIV Treatment
(**) Stopping Renegade Signaling

بعض التوقعات المبكرة لأدوية جديدة(*)

في مجمل الحالات، بدأ الباحثون باستنباط أدوية تؤثر في المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G (GPCRs) باستخدام طرق جديدة. لكن يُتوقع لمثل هذه الأدوية أن تدخل السوق الصيدلانية في السنوات القادمة.

الاضطراب	نمط الدواء	اسم الدواء (اسم الصانع)	مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G	مرحلة التطوير
عدوى فيروس العَوَز المناعي البشري (HIV)	محوِّر متفارغ	Aplaviroc (Glaxo SmothKline); Vircriviroc (Shering-plough); UK-427,857 (Pfizer)	CCR5 (الارتباط مع HIV يساعد هذا الفيروس على الدخول إلى الخلية)	جميعها في مرحلة التجارب البشرية II أو III (اختبارات مبكرة أو متقدمة للنجاعة efficacy)
	محوِّر متفارغ	AMD3100 (AnorMED)	CXCR4 (يمكن لهذا المُسْتَقْبِل أيضا أن يساعد على دخول الفيروس HIV إلى الخلايا)	في التجارب البشرية في المرحلة III
	محرض الإدخال	PSC-RANTES (مؤسسات عديدة)	CCR5	نظريا
السكري	رابط لمُسْتَقْبِل مكوَّن من جزيئين	Symlin (Amylin)	معقد مكوَّن من بروتين يسمى RAMP والمُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G (GPCR) للكالسيتونين calcitonin (هرمون الدرق)	بلغ مرحلة مصادقة الولايات المتحدة في الشهر 2005/5
السمنة	ناهض معكوس	ليس بعد	مُسْتَقْبِل ghrelin فعال بنيويا في الجهاز العصبي المركزي	نظريا
	ناهض معكوس	ليس بعد	مُسْتَقْبِل هيستامين H_3 فعال بنيويا في الجهاز العصبي المركزي	نظريا
السرطان	ناهض معكوس	ليس بعد	مُسْتَقْبِلات مقترنة بالبروتين G فعالة بنيويا متنوعة	نظريا

المُسْتَقْبِلات البنيوية الناشطة وفيرة بكفاية، فإن **تأشيرها المشترك** combined signaling يستطيع أن يمارس تأثيرا قويا.

وتصبح تلك النتائج خطرة في حال المرض، مثل **العدوى الفيروسية** viral infection أو السرطان، الذي يمكن أن يتفاقم من خلال تحريض مُستقبل معين أو غيره لكي يسلك سبيلا يعزز المرض. فعلى سبيل المثال، في أحد أشكال سرطان **البنكرياس** pancreatic، قد يقوم المُسْتَقْبِل الخاص بهرمون معيَّن يدعى **الببتيد المعوي الفعال في الأوعية** vasoactive intestinal peptide (VIP) بدور المنفذ السيئ.

ففي حالة الخلية البنكرياسية التي تحمل المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G، فإن تنشيط هذا المُسْتَقْبِل بالببتيد المعوي الفعال في الأوعية (VIP) يدعم انقسام الخلية. لكن في حالة الأشخاص المبتلين بهذه الخباثة، يصبح المُسْتَقْبِل **مفرط الوفرة** overabundant وتصبح **الأشكال (النُّسَخ) المعدلة** versions لهذا المُسْتَقْبِل ـ والتي تعمل باستقلالية من غير حاجة إلى التنبيه بالببتيد المعوي الفعال في الأوعية ـ تبعا لذلك عديدة؛ إذ تكتسب مع بعضها القدرة على قيادة تكاثر غير مقيد لخلايا السرطان. وقد تعرَّف المختصون بالأورام قبل عهد طويل النشاط البنيوي المخرِّب لبعض المُسْتَقْبِلات غير المقترنة بالبروتين G، وبخاصة أحدها الذي يدعى ras. وفي هذه الحالات، تكون **الطفرات** mutations في المُسْتَقْبِل، وليس **الوفرة** aberrant، هي المسبب لهذا السلوك.

لا تستطيع المواد الصيدلانية (الأدوية) المعيارية أن تحد (تلطِّف) من سوء السلوك الخلوي الذي انطلق بفعل المُسْتَقْبِلات الناشطة (الفاعلة) بنيويا. يمكن فقط لمنبه **مُسْتَقْبِل تقليدي** conventional receptor stimulant، أو **ناهض** agonist، أن يجعل عددا أكبر من المُسْتَقْبِلات يتخذ شكلا ناشطا، مما يضر المريض. ويمكن **لمحصر** مُسْتَقْبِل تقليدي blocker، أو **مناهض** antagonist، أن يمنع الإشارات الطبيعية من أن تفعِّل المستقبلات، لكن مثل هذه العوامل (المحصرات) لن يكون له تأثير في المُسْتَقْبِلات التي لا تحتاج إلى تعزيز من الخارج لكي تعمل. وهكذا، ثمة نوع جديد من الأدوية هو المطلوب، ذلك الذي يجعل المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G الناشطة بنيويا تحافظ على **الشكل العاطل (غير الفعال)** inactive shape.

وفي يوم ما يمكن لمثل هذه العوامل (الأدوية)، التي تسمى **ناهضات معكوسة** inverse agonists، أن تصير شكلا جديدا مهما لمعالجة السرطان. وهذه العوامل هي قيد البحث أيضا لمعالجة السِّمنة. وفي هذا الحقل، تتضمن الأهداف المنشودة مُسْتَقْبِل الـ ghrelin، هرمون مُكْتَشَف حديثا يُنْتَج على نحو رئيسي في المعدة، والنُّميط H3 لمُسْتَقْبِل الهيستامين؛ ويبدو أن كلا المُسْتَقْبِلين يشتركان في التنظيم الدماغي للشهية.

استقصاء الجينات الخيالية(**)

على الأقل ثمة شكل آخر من أشكال سلوك المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G يبقى هدفا للتنقيب لأجل اكتشاف الدواء. فالخلايا تقوم أحيانا بمزج وإجراء التزاوج ما بين البروتينات، فتشكل معقدات تعمل مُسْتَقْبِلات تمتلك **حساسية** sensitivities لا تُرى في المكونات المُفردة لهذه المعقدات. وفي الحد

(*) Some early prospects for new drugs
(**) Exploiting Phantom Genes

الأقصى لهذا النموذج، تكتسب الخلية **استجابية** responsiveness إلى إشارة ما كان من الممكن أن تتجاهلها لولا هذا النشاط. تملك البروتينات المفردة **مخططاتها الأصلية (طبعاتها الزرق)** blueprints ضمن جينات (مورثات) نوعية، لكن ليس لهذه **المُسْتَقْبِلات التوليفية** combination receptors مخطط مفرد موافق (وهو الذي يمكن أن يُتوقَّع من خلاله سلوكيات هذه المُسْتَقْبِلات) وهكذا يمكن أن يُظن بأنها عبارة عن منتجات تنتجها **جينات «خيالية»** phantom genes.

في بعض الحالات، يُعد المُسْتَقْبِل الجديد معقدا يتكون من مُسْتَقْبِلَين أو أكثر من المستقبلات المقترنة بالبروتين G؛ في حالات أخرى، يتكون من مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G وبروتين مُشارك (تميم البروتين) co-protein. ذلك الذي لا يُعد هو نفسه مُسْتَقْبِلا بل يعطي المُسْتَقْبِل مجموعة معدَّلة من الخواص. ويبدو أن مُسْتَقْبِل أحد الهرمونات الذي يدعى أميلين amylin هو من هذا النمط. يقوم الأميلين المحرَّر (المنطلق) من قبل الخلايا البنكرياسية نفسها التي تُفرز الأنسولين insulin، بتحوير (تعديل) تأثيرات الأنسولين في خلايا أخرى، ولكن الجهود التي بذلت لتعيين هوية أحد البروتينات المفردة الذي يخدم مُسْتَقْبِلا لهذا الأنسولين قد فشلت. وأكثر من ذلك، تشير تحاليل مُتوالية **الجينوم (المجين) البشري** human genome sequence التي أُكملت حديثا، إلى أنه لا توجد جينة لمثل هذا المُسْتَقْبِل. ومن ناحية أخرى، هناك مُعقَّد يتكون من مُسْتَقْبِل مقترن بالبروتين G **لهرمون الدَّرَق «الكالسيتونين»** thyroid hormone calcitonin ومن **بروتين لا يُعد مُسْتَقْبِلا** non-receptor protein ويدعى RAMP (والحروف هي اختصار **البروتين المحوِّر لنشاط المُسْتَقْبِل** receptor activity-modifying protein)، وهذا المعقد يستجيب بشدة وبانتقائية للأميلين. ويبدو ظاهريا أن البروتين RAMP يجعل مُسْتَقْبِل الكالسيتونين «**متعدد اللغات**» multilingual ـ وهو ما يعني أن هذا المُسْتَقْبِل هو **تفاعلي** reactive تجاه الكالسيتونين إذا ما افتقرت الخلايا إلى البروتين RAMP، لكنه حساس للأميلين إذا ما احتوت الخلايا على هذا البروتين.

ويحرِّض أحد البروتينات المشاركة (المساعدة) الأخرى، والذي يسمى RCP **(بروتين مكوِّن للمُسْتَقْبِل** receptor component protein). مُسْتَقْبِل الكالسيتونين لكي يستجيب للإشارات من مادة أخرى، هي CGRP **(ببتيد متعلق بجينة الكالسيتونين** calcitonin-gene- related peptide)، وهي بروتين صغير يُعد البروتين الأكثر فاعلية المعروف بأنه موسع للأوعية الدموية. ويصبح هذا **التحويل** conversion ذا قيمة أثناء الحمل. عندما ترتفع مستويات الدم من الببتيد الموسِّع وترتفع مستويات البروتين RCP في جدار الرحم. وبسبب ازدياد تركيز البروتين RCP يزداد من ثم عدد مُسْتَقْبِلات الكالسيتونين التي تصبح حساسة للموسِّع. وهذا التبدل يعزِّز إمداد الدم للنُّسج المهمة لأجل **الولادة** childbirth.

ولأن البروتينات المشاركة تؤثر في نشاط وفعالية المُسْتَقْبِل المقترن بالبروتين G، فيمكن لها هي نفسها أن تبرهن على قيمتها بصفتها أهدافا دوائية. وأحد الأهداف المدهشة هو الموديولين modulin، وهو بروتين مشارك يرتبط بمُسْتَقْبِلات السيروتونين serotonin. ففي الدماغ، يُعد السيروتونين الناقل العصبي الأكثر شهرة الذي يُعزِّز **المزاج** moodenhancing. (يعمل البروزاك Prozac ومضادات الاكتئاب ذات الصلة من خلال زيادة مستويات سيروتونين الدماغ.) أما خارج الدماغ، فيؤثر السيروتونين في الأمعاء وفي أوعية الدم. وربما على نحو غير مفاجئ، تملك مُسْتَقْبِلات السيروتونين العديد من **النُّمَيْطات** subtypes، وإن الموديولين يضبط تأثيرات السيروتونين في خلايا معينة من خلال تعديل حساسية أحد النميطات تجاهه. إن الدواء الذي يُحاكي أو يثبِّط الموديولين يمكنه، عندئذ، نظريا زيادة أو إنقاص **استجابة** responsivenss مُسْتَقْبِلات السيروتونين النوعية، الموجودة على أنماط من الخلايا النوعية ومن ثم يمكنه أن يكون ذا فائدة في مجالات تتراوح من **الفُصام** schizophrenia وحتى الوظيفة المعدية المعوية.

ويقدِّر الباحثون أن من بين نحو 650 جينة بشرية للمُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G ثمة 330 يمكن أن تكون هي الطبعات الأولية للمُسْتَقْبِلات وتستحق أن تكون مُسْتَهْدَفة بالأدوية. وسابقا، كان العلماء يركِّزون على تطوير المثبطات ذات النمط القديم أو على الناهضات الموجهة نحو المقر الناشط للمُسْتَقْبِل. لكن إذا قدَّم العديد من المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G مقرَّات كثيرة للهجوم، فستُحدث ثورة في فُرص ابتكار معالجات دوائية جديدة. ولما كان اكتشاف أي دواء واستقصاء تأثيراته وتقييم مأمونيته وإدخاله إلى السوق التجارية يحتاج إلى 15 سنة أو حتى 20، فإن التنبؤات المُفصَّلة سابقة لأوانها. ومع ذلك، إن التبصرات في كيفية السيطرة على المُسْتَقْبِلات المقترنة بالبروتين G توحي بأن هذه البدائل القديمة مازالت حكاياتها مثيرة. ■

(1) مجموع الجينات في الكائن

المؤلف

Terry Kenakin

يطبق كيناكين مفاهيم فارماكولوجيا المُسْتَقْبِل على برامج اكتشاف الدواء منذ ثلاثة عقود تقريبا. وهو حاليا الباحث الرئيسي في الشركة الصيدلانية GlaxoSmithKline*. نشر 6 كتب عن الفارماكولوجيا. وهو أيضا رئيس التحرير المشارك لمجلة* **المُسْتَقْبِلات ونقل الإشارة** Journal of Receptors and Signal Transduction

مراجع للاستزادة

Novel GPCRs and Their Endogenous Ligands: Expanding the Boundaries of Physiology and Pharmacology. A. Marchese, S. R. George, L. F. Kolakowski, K. R. Lynch and B. F. O'Dowd in *Trends in Pharmacological Sciences,* Vol. 20, No. 9, pages 370–375; September 1, 1999.

Drug Discovery: A Historical Perspective. J. Drews in *Science,* Vol. 287, pages 1960–1964; March 17, 2000.

G-Protein-Coupled Receptor Interacting Proteins: Emerging Roles in Localization and Signal Transduction. A. E. Brady and L. E. Limbird in *Cellular Signalling,* Vol. 14, No. 4, pages 297–309; April 2002.

A Pharmacology Primer: Theory, Application, and Methods. Terry Kenakin. Academic Press [Elsevier], 2003.

Scientific American, October 2005

تتمة الصفحة 9 (كيف تجري الحيوانات عمليات مقايضة فيما بينها)



قد يستولي الصعود غير العقلاني على مشاعر المتعلمين في البورصة.

كيف يُجري البشر صفقاتهم التجارية[*]

العواطف التي وصفها <F. دو ڤال> في المقايضات الاقتصادية عند الحيوانات الاجتماعية لها نظائر في صفقاتنا (معاملاتنا التجارية). وتوحي مثل هذه التشابهات بأن التأثيرات الاقتصادية البشرية تحكمها ـ جزئيا على الأقل ـ الميول والعواطف القديمة. وفي الحقيقة، إن ما يتم في عالم الحيوان يدعم فرعا جديدا من المعرفة يعرف باسم «علم الاقتصاد السلوكي» behavioral economics. وهذا الفرع الجديد يتحدى ويحوِّر «النموذج القياسي» في مباحث الاقتصاد، الذي يؤكد أن البشر يؤسسون قراراتهم الاقتصادية على عمليات التفكير العقلاني. فالناس مثلا، يرفضون العروض التي تصدمهم بعدم عدالتها، في حين يتنبأ علم الاقتصاد التقليدي بأن الناس يأخذون أي شيء يستطيعون الحصول عليه. وقد مُنحت جائزة نوبل في علم الاقتصاد عام 2002 لرائدين في هذا المجال: <D. كانمان> [العالم السيكولوجي (النفسي) في جامعة برنستون] و<V. L. سميث> [العالم الاقتصادي في جامعة جورج ماسون].

وقد قام <كانمان> وزميله <A. تڤرسكاي> المتوفى عام 1996 ومن ثم لم يُرشَّح للجائزة، بتحليل كيف يصنع البشر قراراتهم عندما يُواجَهون بالشك والخطر. ولقد كان علماء الاقتصاد التقليديون يفكرون في قرارات الإنسان بلُغة المنفعة المتوقعة ـ مجموع المكاسب التي يعتقد الناس أنهم سوف يحصلون عليها من حدث مستقبلي مضروبا في احتمالية حدوثه. لكن <كانمان> و<تڤرسكاي> أوضحا أن الناس يخشون الخسائر أكثر كثيرا من تشجُّعهم بمكاسب محتملة وأن الناس تتبع الجماعة (القطيع). لقد أمدنا انفجار فقاعة البورصة في عام 2000 بمثال قوي؛ فربما كانت الرغبة في البقاء مع القطيع قد قادت الناس إلى أن يدفعوا في الأسهم أكبر كثيرا مما قد يدفعه أي مستثمر عقلاني.

ولقد أوضح عمل <سميث> أن تجارب المختبر قد توظَّف في علم الاقتصاد، الذي كان يعد علما لاتجريبيا يعتمد كليا على الملاحظة. ومن بين نتائجه في المختبر: القرارات العاطفية ليست بالضرورة غير حكيمة.

يحصل عليه الآخرون أمرا غير منطقي أو عقلاني. ولكن على المدى الطويل هو يحفظ الفرد من أن يُحتال عليه وعدم تشجيع الاستغلال عامل حاسم لاستمرار التعاون.

ومع ذلك، إن المراقبة الدقيقة الدائمة لمسارات الفوائد والخدمات أمر يسبب كثيرا من القلق. وهذا هو السبب في أن البشر يحمون أنفسهم ضد التطفل والاستغلال بتكوين علاقات زمالة مع الشركاء ـ مثل الأزواج والأصدقاء الجيدين ـ الذين صمدوا لاختبار الزمن. فإذا ما حددنا الذين نثق بهم، تراخينا في التقيد بالقواعد. ولذلك نحن لا نحتفظ بسجلات ذهنية إلا مع الشركاء غير وثيقي الصلة، ونتأثر بقوة بالأمور غير المتوازنة ونصفها بأنها «غير منصفة».

وقد وجدنا دلالات على تأثير المسافات الاجتماعية في الشمپانزات. فكما رأينا، إن أسلوب «واحدة بواحدة» نادر بين الأصدقاء، الذين يقدمون خدمات بعضهم لبعض روتينيا. وتبدو هذه العلاقات أيضا حصينة نسبيا ضد عدم المساواة. ولقد أجرت <بروسنان> تجاربها في التبادل باستخدام العنب والخيار على الشمپانزات وقرود كاپوشين أيضا. ولقد ظهر أقوى رد فعل بين الشمپانزات التي عرف بعضها بعضا زمنا قصيرا نسبيا، في حين أن أعضاء الجماعات التي عاشت معا لأكثر من 30 عاما فلا تكاد تتأثر على الإطلاق بهذه العوامل؛ بل ربما كلما زادت ألفتها زاد إطار الوقت الذي تقيِّم الشمپانزات فيه علاقاتها. والعلاقات البعيدة غير الوثيقة الصلة هي وحدها التي تكون حساسة للتذبذبات اليومية.

وجميع المتعاملين اقتصاديا، سواء من البشر أو الحيوان، عليهم مواجهة مشكلة التطفل وتقاسم العائدات بعد جهود مشتركة. إنهم يقومون بالاقتسام الأكبر مع أولئك الذين يساعدونهم أكثر ويبدون ردود فعل عاطفية قوية نحو مخالفة توقعاتهم. وثمة مبحث من علم الاقتصاد تطوري حقا يعترف بسيكولوجية المشاركة هذه، وينظر بعين الاعتبار إلى أن احتمال اكتسابنا إياها ليس من باب المصادفة، كما كان يعتقد <هوبس>، لكن كجزء من خلفيتنا كرئيسات متعاونة. ■

(*) How Humans Do Business

المؤلف

Frans B. M. DeWaal

هو أستاذ كرسي <C. H. كاندلر> لسلوك الرئيسات في جامعة إيموري ومدير مركز الحلقات الحية في مركز يركس الوطني لأبحاث الرئيسات. يتخصص <دي ڤال> بالسلوك الاجتماعي والمعرفي في القرود والشمپانزي والبونوبوس (الشمپانزي القزم)، وعلى وجه الخصوص من ناحية التعاون وحل النزاعات والثقافة. ومن بين مؤلفاته: **سياسات الشمپانزي** Chimpanzee Politics، **صنع السلام بين الرئيسات** Peacemaking among Primates، **والقرود العليا وسيد السوشي** The Ape and the Sushi Master *(والسوشي أكلة يابانية من الأرز والسمك والخضراوات)*.

مراجع للاستزادة

The Chimpanzee's Service Economy: Food for Grooming. Frans B. M. de Waal in *Evolution and Human Behavior,* Vol. 18, No. 6, pages 375–386; November 1997.

Payment for Labour in Monkeys. Frans B. M. de Waal and Michelle L. Berger in *Nature,* Vol. 404, page 563; April 6, 2000.

Choosy Reef Fish Select Cleaner Fish That Provide High-Quality Service. R. Bshary and D. Schäffer in *Animal Behaviour,* Vol. 63, No. 3, pages 557–564; March 2002.

Infants as a Commodity in a Baboon Market. S. P. Henzi and L. Barrett in *Animal Behaviour,* Vol. 63, No. 5, pages 915–921; 2002.

Monkeys Reject Unequal Pay. Sarah F. Brosnan and Frans B. M. de Waal in *Nature,* Vol. 425, pages 297–299; September 18, 2003.

Living Links Center site: **www.emory.edu/LIVING_LINKS/**

Classic cooperation experiment with chimpanzees: **www.emory.edu/LIVING_LINKS/crawfordvideo.html**

Scientific American, April 2005

أمل جديد لقهر الروتاڤيروس(*)

مع أن اسمه ليس معروفا للكثيرين فإن الروتاڤيروس أو ڤيروس «الروتا» هو السبب الرئيسي للإصابة بإسهال الأطفال في العالم، ويقتل العديد من الأطفال الصغار في الدول النامية. وحاليا، بعد ثلاثين عاما من الأبحاث سيتوافر في الأسواق اللقاح الذي يمكن أن يقضي عليه.

<R. I كلاس>



يجري إنقاذ الطفل المصاب بإسهال شديد نتيجة العدوى بالروتاڤيروس عن طريق علاج التجفاف، ولكن العديد من الأطفال في الدول النامية، حيث لا تتوافر وسائل الرعاية الصحية لهم ولا يتم علاج المصابين بالڤيروس، سوف يموتون بسبب الإصابة.

إن الفكرة السائدة عن الڤيروس القاتل تعيد للأذهان صور المرضى الذين يعانون الإصابة بڤيروسات «الإيبولا» في إفريقيا و«السارس» في آسيا و«الهانتا» في الولايات المتحدة الأمريكية. ولكن في الواقع فإن هذه الڤيروسات الشريرة حصدت من الأرواح أقل مما حصده الروتاڤيروس الذي مازال اسمه مجهولا للعامة: فتقريبا يصيب هذا الڤيروس جميع الأطفال في السنوات الأولى من أعمارهم وهو يسبب قيئا يعقبه إسهال. وكثيرا ما يكون الإسهال شديدا، حتى إنه لو ترك من دون علاج يؤدي للإصابة بصدمة من التجفاف ثم الوفاة. وفي مختلف أنحاء العالم يقتل الروتاڤيروس نحو 000 610 طفل، ما يوازي خمسة في المئة من جميع وفيات الأطفال الذين تقل أعمارهم عن خمس سنوات. وفي الولايات المتحدة قليل من الأطفال يموتون من الإصابة بالڤيروس ولكن نحو 000 70 يحتاجون سنويا إلى دخول المستشفيات والعديد من الملايين يعانون بصمت الإصابة بالڤيروس في المنازل.

ومع أن العلماء حاليا على وشك تحطيم قبضة هذا المرض القاتل ـ في الشهر 1، وبعد ثلاثة عقود من تعرّف المسبب الرئيسي للمرض ـ فقد أعلنوا أن نوعين من اللقاحات من هذا الڤيروس قد ثبتت فاعليتهما في التجارب السريرية (الإكلينيكية) التي شملت أعدادا كبيرة. وقد كانت عملية تصنيع اللقاح ضد الروتاڤيروس شديدة الصعوبة والتعقيد أكثر مما يمكن أن يتصوره أي إنسان، كما كانت تعجّ بالتراجعات والمفاجآت. ولكن منظمة الصحة العالمية (WHO) والاتحاد العالمي للتحصين والمناعة(1) اعتبرا أن لقاح الروتاڤيروس ذو أولوية قصوى وأن المعركة النهائية لحصول الأطفال الصغار على هذا اللقاح الذين يحتاجون إليه بشدة قد بدأت بالفعل.

(*) NEW HOPE FOR DEFEATING ROTAVIRUS
(1) Global Alliance for Vaccines and Immunizations

ذُرَيْرات (جزيئات) الفيروس تشبه العجلة (ومن هنا جاء اسمها روتا، أي العجلة) حيث يمكن رؤيتها بالمجهر الإلكتروني - الذريرات في هذا الشكل ملونة ومكبرة تكبيرا شديدا

تعرُّف الڤيروس المعدي(*)

في عام 1973 كانت <R. بيشوب> [عالمة الميكروبيولوجيا (الأحياء الدقيقة) الشابة والتي تعمل في مجال أمراض الجهاز الهضمي بالمستشفى الملكي في ملبورن - أستراليا] أول من تعرف الروتاڤيروس مسببا لمرض الإنسان. وفي هذا الوقت كان الباحثون حائرين في معرفة سبب إسهال الأطفال. ومع أن المرض كان منتشرا وشديدا، فقد كان من النادر تعرف أسبابه. ولمعرفة المسببات كانت مجموعة <بيشوب> تفحص بوساطة المجهر الإلكتروني عينات من الاثني عشر والأمعاء الدقيقة للأطفال المصابين بإصابات حادة. وقد ذُهلت مجموعة <بيشوب> لما شاهدته: الاحتشار بڤيروسات تشبه العجلة في الخلايا الظهارية المبطنة للأمعاء.

وقد بدأ اهتمام كاتب هذه المقالة شخصيا بالروتاڤيروس في عام 1979 عندما انتقل هو وزوجته إلى بنغلادبش للعمل في المركز الدولي لأبحاث أمراض الإسهال. ومثل أي شباب مثاليين تم انجذابهم لهذا العمل لرغبتهم في مساعدة الأطفال في بلد، حيث الإسهال الشديد من أهم أسباب الوفاة فيها. وفي المستشفى المركزي في دكّا كان يتم سنويا إدخال مرضى عديدين مصابين بما كان يسمى «الإنفلونزا المعوية»، لدرجة أنه كان يتم رعايتهم في ممرات المستشفى وفي خيم خارجه، معتقدين أن العدوى البكتيرية هي التي سببت الإصابة بالإسهال. وفوجئنا أن هؤلاء الأطفال لم يكونوا مصابين بالكوليرا أو السالمونيلا أو الشيكيلا أو الكولونيات، بل بالروتاڤيروس الذي كانت معرفتنا به قليلة. وبالاستعانة باختبار بسيط تم تعرف أن الروتاڤيروس كان سبب دخول ما يراوح بين 25 و 40 في المئة من جميع الأطفال المصابين بالإسهال الذين تقل أعمارهم عن خمس سنوات للمستشفى.

وأظهرت الدراسات من مختلف أنحاء العالم نتائج مماثلة، بل أكثر من ذلك: لقد أوضحت أن الروتاڤيروس لم يكن فقط واسع الانتشار ولكنه سبب رئيسي للوفاة في البلاد الأشد فقرا. وفي عام 1985 أجبرت هذه المعلومات المؤسسة الطبية على وضع عدوى الروتاڤيروس على رأس قائمة الأمراض التي تستدعي عاجلا وجود لقاحات لها في دول العالم النامية.

وفي الوقت نفسه ومما يدعو للاستغراب كانت معرفة نسبة انتشار الروتاڤيروس في الولايات المتحدة في عام 1986 غير معروفة - وعند عودة كاتب المقالة إلى مراكز مكافحة الأمراض (CDC) في الولايات المتحدة الأمريكية، كان المرض نادرا ما يتم تشخيصه. وفي الواقع لم يكن حتى مسجلا على قائمة التصنيف الدولي للأمراض. وبعد معرفة أهمية المرض مما وراء البحار، قام الكاتب وزملاؤه بالتقصي عما إذا كان المرض يصيب الكثير من الناس في الولايات المتحدة.

ولكن كيف يمكن تقدير عبء مرض كان من النادر تشخيصه، ولم يسبق تدوينه في سجلات المرضى من المستشفيات ولا يتم تشخيصه بوساطة معظم أطباء الأطفال الذين كثيرا ما يعالجونه؟ بدأت زميلتي <Ch-M. هو> بمراجعة سجلات إدخال الأطفال إلى المستشفيات، ووجدت أن الإسهال سبب شائع للبقاء في المستشفيات في نحو 12% من الأطفال دون الخمس سنوات، وتم تسجيلهم على أن سبب الإسهال غير معروف. وأثبتت الدراسات التالية أن الإصابة بالروتاڤيروس شكلت نصيب الأسد من الحالات غير المعروف سببها. وقد ظهرت ثلاث حقائق مثيرة أخرى عن الروتاڤيروس في أمريكا: أولا إن العدوى تتبع نظاما موسميا محددا - قمته من الشهر 12 إلى الشهر 3؛ ثانيا إن معظم الأطفال الذين يتم إدخالهم بسبب الإصابة بهذا الڤيروس سنهم أقل من خمس سنوات؛ ثالثا بصرف النظر عن الموسم فإن الروتاڤيروس يسبب معظم حالات الإسهال الشديد في الأطفال الصغار.

يعرف دارسو علم وبائيات الأمراض حاليا أن الروتاڤيروس هو أكثر وأهم سبب للإصابة بإسهال الأطفال في جميع أنحاء العالم ويصيب افتراضيا جميع الأطفال بين سن ثلاثة أشهر وخمس سنوات. ولأن الڤيروس يختلف عن البكتيرات(1) التي تنتشر عن طريق الغذاء أو الماء الملوث، وبذلك تتركز إصاباتها في المناطق الفقيرة، ولا تتبع الإصابة بالروتاڤيروس حدودا جغرافية. وفي الواقع بسبب سعة انتشار الڤيروس فإن الأمريكيين يواجهون نفس خطر الإصابة، مثل البنگلاديشيين - مما يشير إلى أن الڤيروس شديد العدوى. وينتشر بسهولة مثل انتشار ڤيروس «نزلة البرد» مثلا. وكما هو معروف في الڤيروسات التي تسبب الإصابة بنزلة البرد فإن تطبيق القوانين الصحية وماء الشرب النظيف ليس لهما تأثير يذكر في منع

نظرة إجمالية/ اكتشاف الروتاڤيروس(**)

- يصاب تقريبا كل طفل في العالم بالروتاڤيروس على الأقل مرة واحدة، على الرغم من ذلك مازال اسم المرض مجهولا لدى الكثيرين، وغالبا ما يشخص على أنه إنفلونزا معدية أو معوية، حتى لدى العاملين في مجال الرعاية الصحية.
- يسبب المرض خسارة كبيرة للأطفال الصغار، حيث يؤدي إلى دخول عشرات الآلاف منهم إلى المستشفيات كل عام في الولايات المتحدة، ويقتل أكثر من 000 600 في البلاد الفقيرة.
- منذ اكتشاف الڤيروس قبل ثلاثين عاما - عرف الباحثون الكثير من أسراره، ومنها التوصل إلى أن اللقاح يمكنه القضاء عليه.
- اليوم بعد عدة عثرات وبدايات خاطئة تم تقريبا كسب السباق لإيجاد لقاح: العديد من لقاحات الروتاڤيروس أثبتت سلامتها وفعاليتها.

(*) Identifying the Contagion

(**) Overview/ Rotavirus Victory

(1) جمع بكتيرة bacterium

التوزيع العالمي للوفيات عام 2003 بسبب الروتاڤيروس(*)



تقريبا كل طفل عمره أقل من خمس سنوات سوف يصاب بالروتاڤيروس، ولكن معظم الوفيات تحدث خارج أمريكا الشمالية وأوروبا: في الأمكنة التي يصعب فيها الحصول على الرعاية الطبية وعلاج التجفاف. وتوضح الخريطة الوفيات التي قدرت عند الأطفال في تلك الفئة العمرية في عام 2003، وتبين العشر دول التي عانت أكثر الوفيات. وتقع بنغلاديش قرب أسفل هذه المجموعة ولكنها تعاني أعلى نسبة للوفيات بين الأفراد بسبب هذا المرض. والسكان في المناطق الريفية هناك كثيرا ما يقطعون مسافات طويلة بوسائل بطيئة (*الصورة اليمنى*) للحصول على المساعدة. والأطفال المصابون بإسهال شديد عندما يصلون إلى دكّا يتم وضعهم في أسرّة تحتها جرادل (سطول) لتتلقى مباشرة الإسهال الغزير المائي. وفي يمين الصورة، أم داخل المستشفى تعطي طفلها محلول معالجة التجفاف.

انتقال المرض.

وتشهد الدراسات السريرية والجزيئية على ضراوة المرض، حيث إن عشرة جزيئات فقط من الڤيروس يمكنها بدء المعاناة لدى طفل صغير. رذاذ محمل بالڤيروس يقع على إبهام الطفل أو على لعبته يكفي للإصابة بالمرض. وبدخوله في الفم يجد الڤيروس طريقه للخلايا الظهارية المبطنة للأمعاء الدقيقة، حيث يتكاثر بسرعة مذهلة، وخلال 24 ساعة فإن عشرة ڤيروسات يصل عددها إلى الملايين ـ تملأ وتقتل الخلايا ببروتيناتها وذيفاناتها ـ وجزيئات صغيرة مصنعة وبسرعة يتسلخ الغشاء المبطن للجهاز المعوي ويخرج فيضان من السوائل والأيونات (الشوارد) الذائبة في السوائل إلى خارج الجسم على هيئة نوبات من الإسهال. وبدون بدء علاج الإماهة لمقاومة التجفاف يفقد الطفل 10% من وزنه ويصاب بالصدمة ـ فقط خلال يوم أو يومين من الإصابة.

ولحسن الحظ، فإن الأطفال الذين ينجون من الإصابة بالعدوى الأولى لا يعانون مضاعفات طويلة الأمد ـ وقد يصاب القليلون منهم فقط بنوبة إسهال أخرى سببها الروتاڤيروس، حيث توجد لديهم مناعة طبيعية ـ وأن جهازهم المناعي ينطلق بسرعة للتعرف ولمنع تكاثر الڤيروس عند هجومه التالي ـ ولكن لأن الكثير من الأطفال يمرضون بشدة من أول عدوى، فكّر العلماء في لقاح يشابه المناعة الطبيعية كأفضل أمل لإنقاذ الأرواح.

وتبدأ رحلة البحث عن لقاح(**)

اللقاحات أسلحة قوية في مخزون الإنسان ضد الأمراض الإنتانية وتعتبر أهم التدخلات المؤثرة في الصحة العامة. وسواء كانت مصنوعة من الكائنات الحية الدقيقة أو المقتولة أو من بروتيناتها الأساسية، فإن اللقاحات تخدع الجهاز المناعي للمتلقي ليعتقد أنه هوجم بالمرض. واستجابة لذلك فإن الجهاز المناعي ينتج أضدادا (أجساما مضادة) للقاح (الذي لا يسبب

(*) Global Distribution of Deaths from Rotavirus
(**) Quest for a Vaccine Begins

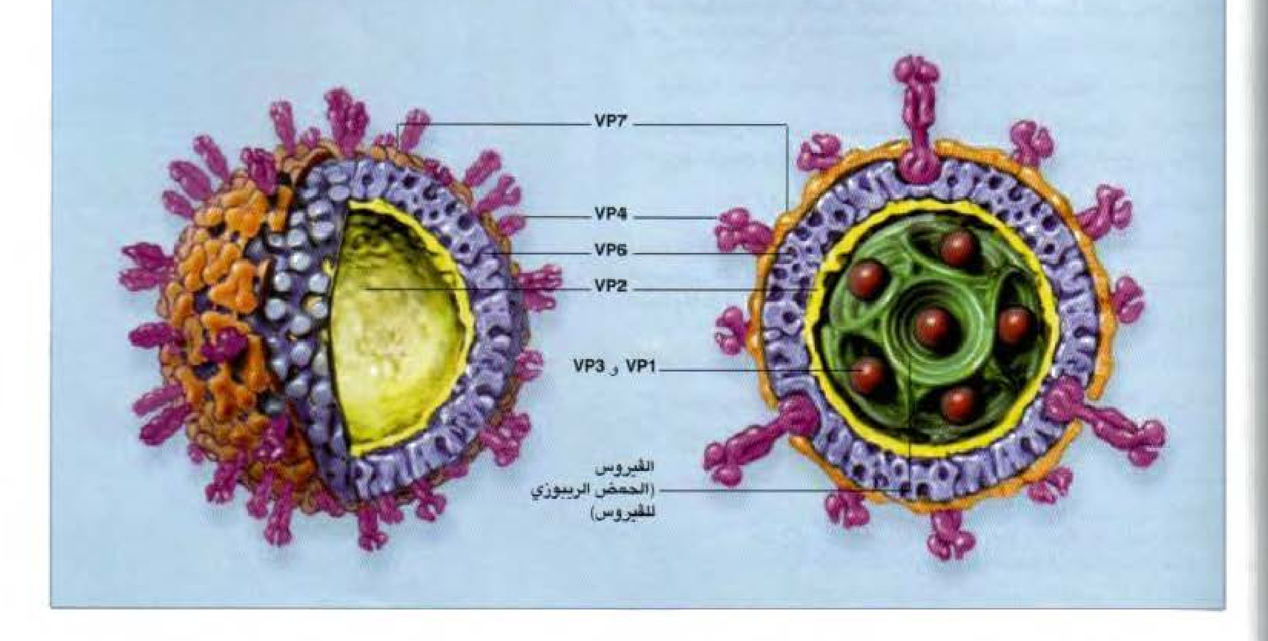
الروتاڤيروس عن قرب(*)

توضح الدراسات البنيوية للڤيروس بالمجهر الإلكتروني ـ الذي يظهر أسفل، في مقطعين ـ انه يتكون من ثلاث طبقات من البروتين التي تغلف الجينوم (المجين) وبروتيناته البنيوية التي توجد على شكل ذُرَيرات تنتشر من شخص إلى آخر وتسمى VPS ويتم ترقيمها.

يكون البروتين VP7 السطح الخارجي ويمتلئ بأشواك البروتين VP4، وهذان البروتينان يثيران الارتكاس المناعي للمصاب ـ وبهذا يقومان بدور أساسي في اللقاحات ـ كما يسهل البروتين VP4 دخول الڤيروس إلى الخلايا ـ كما يفعل الشيء نفسه البروتينان VP5 و VP8 (لم يظهرا في الشكل)، اللذان ينتجان من انشطار البروتين VP4 داخل الجسم.

أما البروتين VP6 فيشكل الطبقة المتوسطة وهي أساسية بالاستنساخ الوراثي لتركيب البروتينات في الخلية المصابة. ويكون البروتين VP2 الطبقة الداخلية. أما البروتينان VP1 و VP3 فهما إنزيمان يعملان على نسخ جينات الڤيروس.

والجينوم مكون من إحدى عشرة قطعة من خيط الرنا المزدوج ملفوفا بشدة على نفسه. وهذه القطع تكوِّد البروتينات VPS وكذلك البروتينات غير البنيوية وتشمل ذيفانا اسمه NSPS4 يتشكل بعد دخول الڤيروس الخلايا.



أي خطر حيوي) كما لو كان ضد الڤيروس نفسه ـ وكما هي الحال في المناعة الطبيعية فإنه في حالة الإصابة بالڤيروس نفسه المسبب للمرض فإن الجهاز المناعي يكون مستعدا لإفراز الأضداد أو لتحريكها.

ومنذ عشرين سنة اهتمت شركات أدوية كثيرة بإنتاج لقاح ضد الروتاڤيروس مع احتمال سوق كبيرة الحجم وذات توزيع عالمي. واتضح أن السعر العالي لتكلفة إنتاج اللقاح سيكون معقولا إضافة إلى أن توزيعه سيكون سهلا حتى في الأمكنة البعيدة، ويمكن إضافة لقاح الروتاڤيروس إلى البرنامج العالمي لتطعيم الأطفال برعاية منظمة الصحة العالمية وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي للأطفال (اليونيسيف)، الذي يغطي نحو ثمانين في المئة من اللقاحات الروتينية لأطفال العالم.

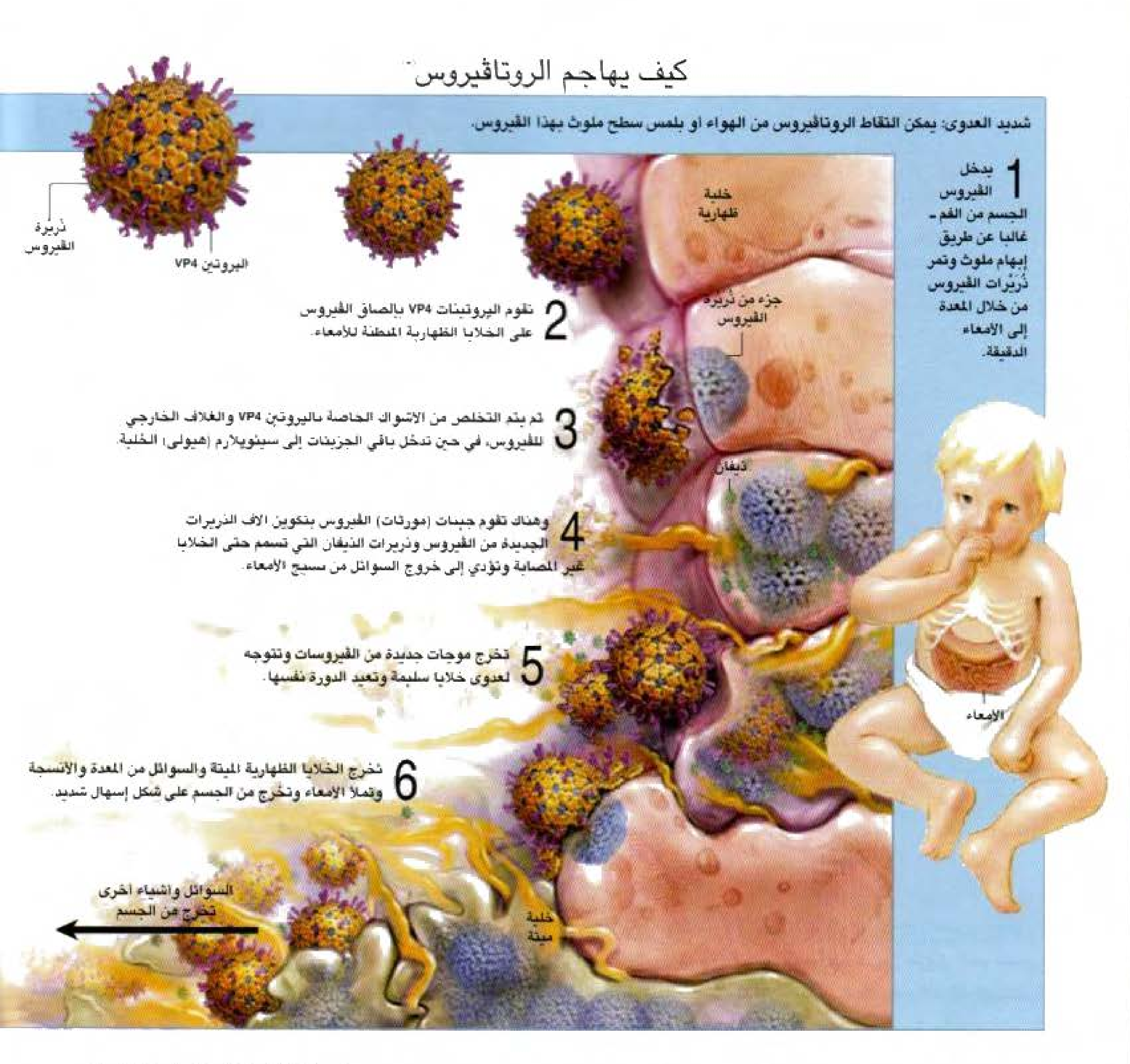
وعلى الرغم من أن سبلا عديدة لإنتاج اللقاحات تم طرقها سواء كانت سلالات أدمية أو حيوانية ـ ڤيروسات حية أو مقتولة، الڤيروس كاملا أو بروتيناته فقط، اتبع باحثو الروتاڤيروس طريقة «A. سابين» [مكتشف لقاح شلل الأطفال] بالإعطاء عن طريق الفم. لقد اعتقد «سابين» أن اللقاحات الحية يمكنها التكاثر ولكنها ضعيفة وغير قادرة على إحداث المرض، بل تماثل الوقاية الناتجة من الإصابة الطبيعية بالعدوى. وأيضا في حالة الروتاڤيروس فإن اللقاحات عن طريق الفم تسرع الاستجابة المناعية في المكان المطلوب، ألا وهو القناة الهضمية. وبسرعة ركز مصنعو اللقاح على الڤيروس الحي الذي تم إضعافه وبخاصة سلالات الروتاڤيروس التي يمكن تناولها عن طريق الفم وليس عن طريق الحقن بالإبر.

وفي عام 1983 كان أول لقاح ضد الروتاڤيروس جاهزا للاختبار. فقد قام «F. أندريه» [من شركة سميث كلاين (RIT) (حاليا گلاكسو سميث كلاين للدواء) في ركينسارت ـ بلجيكا] و«T. ڤيسيكاري» [طبيب أطفال في جامعة تامبير في فنلندا] بإعداد واختبار لقاح مستخرج من سلالة للروتاڤيروس موجودة في الأبقار. واختارا سلالة بقرية من الروتاڤيروس، لأنها تمكنت من النمو جيدا في المزارع واعتقد أنه سيتم إضعافها طبيعيا في الإنسان.

وبجميع المقاييس، فإن أول محاولة تمت في فنلندا تعتبر نجاحا رائدا. وقد نجح اللقاح في إنقاص احتمالات الإصابة الشديدة بالمرض عند الأطفال الذين تم إعطاؤهم اللقاح بنسبة

(*) Rotavirus up Close

كيف يهاجم الروتاڤيروس(*)



88 في المئة، وظهر أن المناعة يمكن استثارتها بوساطة لقاح يتم تناوله عن طريق الفم. إضافة إلى أن اللقاح لم يكن له أي آثار جانبية مزعجة. ومتشجعة بهذه النتائج بدأت الشركة سميث كلاين (RIT) بمحاولات في دول أخرى. وبحلول أواخر الثمانينات، بدأ الشعور بأن الوفيات بسبب الإصابة بالروتاڤيروس أصبحت تحت السيطرة. ولكن نتيجة المحاولات في إفريقيا والبيرو أثبتت عدم تطابقها مع النتائج السابقة وكانت محبطة. وبسبب عدم التأكد من أسباب المشكلة، وعلى الرغم من أن النظم الصحية وعدم علاج الإنتانات وسوء التغذية والإصابة بالطفيليات - جميعها عوامل معروفة تؤثر في الاستجابة المناعية للقاح - فقد أوقفت الشركة برنامج إنتاج اللقاح.

العودة إلى اللجنة المخططة لإنتاج اللقاح(**)

رأى الباحثون في معاهد الصحة الوطنية (NIH) وفي مؤسسة فيستار بفيلادلفيا - في الولايات المتحدة - أن سبب فشل اللقاح الذي أنتجته الشركة RIT ربما يعود إلى أن الڤيروس البقري المستخدم أُضعف بشدة، لدرجة أنه لم يكن قادرا على التكاثر واستثارة استجابة مناعية تحت الظروف غير الملائمة. وبدأ العلماء رحلة البحث عن تركيبات جديدة: فمثلا تعرف <A. كيبكيان> [من معاهد الصحة الوطنية] سلالة من الڤيروس تصيب قرد الريزس، في حين تعرف <F. كلارك> و<S. بلوتكن> [من مؤسسة فيستار] سلالة بقرية أخرى من الڤيروس يمكنها التكاثر بسرعة أكثر. وقد تم إعداد

(*) Wreaking Havoc: How Rotavirus Attacks
(**) Back to the Drawing Board

هذه السلالات لاستخدامها في الاختبارات السريرية على الإنسان. ولكن هذه أيضا أظهرت كلا من النجاح والفشل. وقد اتضح الاحتياج لسنين أخرى لإعادة التفكير في الأسس العلمية.

وفي الوقت نفسه، بدأ علماء آخرون بتعرف التركيب الجزيئي للڤيروس. وعلى الرغم من مظهره في المقطع العرضي للڤيروس الذي يشبه العجلة، فإن الروتاڤيروس يتكون فعلا من كرة ذات ثلاث طبقات تحتوي على 11 قطعة من شريط الرنا المزدوج، وكل منها تحتوي على جينة (مورِّثة) واحدة تكون الكود الوراثي لبروتين محدد. وهذه البروتينات تتكون من نوعين رئيسيين: النوع الأول تركيبي (يحدد تركيب الڤيروس) والآخر غير تركيبي (يتكون داخل الخلايا المصابة). والبروتينات التركيبية للڤيروس تم ترقيمها إلى VP1 و VP2 وهكذا... وكذلك البروتينات غير التركيبية (NSP) التي تشارك في تكاثر الڤيروس وفي الإخلال بوظائف الأمعاء.

وكانت الطبقة الخارجية في تركيب الڤيروس مهمة في تتبع الاستجابة المناعية عند الحاضن للڤيروس، وبؤرة الاهتمام في إنتاج اللقاح. والبروتين رقم 7 (VP7) يشكل السطح المتكوم للڤيروس، في حين أن البروتين رقم 4 (VP4) يشكل الأشواك على السطح الخارجي للعجلة. والبروتين رقم 6 (VP6) البروتين الأكثر توافرا يتوضع تحت البروتين رقم 7 ويشارك في إنتاج بروتينات الڤيروس ضمن الخلايا المصابة - أما البروتين غير التركيبي والمسمى (NSP4) فهو ذيفان قد يقوم بدور في حدوث الإسهال الشديد.

وهناك أشكال عديدة للبروتينات وسلالات عديدة تُكون خلطات مختلفة من البروتينات. وعندما تحدث إصابة لنفس الخلية بسلالتين من الڤيروس - تنسق قطع جينات الڤيروس نفسها كما لو كانت أرقاما في ماكينة شراء، ولتكون تشكيلات عديدة تؤدي إلى أنواع جديدة من الڤيروس. ويتم تكوين أنواع جديدة من هذه الڤيروسات باستمرار، ولكن كما هي الحال في معظم الطفرات - القليل منها يسمح باستمرار الڤيروس في الحياة. وبناء على ذلك فإن من بين الـ42 سلالة من الروتاڤيروس التي تم تعرفها (حتى كتابة هذه المقالة) واعتمادا على تركيبها من أنواع البروتينات VP7 و VP4 فإن أربعة أو خمسة أنواع فقط تشكل أكثر من 90 في المئة من مرض الروتاڤيروس في العالم.

وبتعرف القدرة الطبيعية للروتاڤيروس بترتيب جيناته، اكتشف العالم «كابيكيان» وزميله «H. كرينبرك» [في معاهد الصحة الوطنية (NIH)] طريقة مختبرية لإنتاج تشكيلات لها فائدة في إنتاج اللقاحات ولكنها لا تسبب الإصابة بالمرض. وقد بدؤوا بإعادة تشكيل ڤيروس مكون من مزيج من عشر جينات من الروتاڤيروس الذي يصيب القرود - بإعطائه خاصية الإضعاف وبه جينة واحدة تكود للبروتين السطحي (بروتين الطبقة الخارجية) (VP7) من سلالة بشرية. وقد تم عمل ثلاثة من هذه التشكيلات وكل منها يحتوي على نوع مختلف من البروتين الآدمي VP7 وأحدها من سلالة ڤيروس الريزس الصافي ونوع رابع من البروتين VP7 يوجد في كل من

إنتاج لقاح للروتاڤيروس (*)

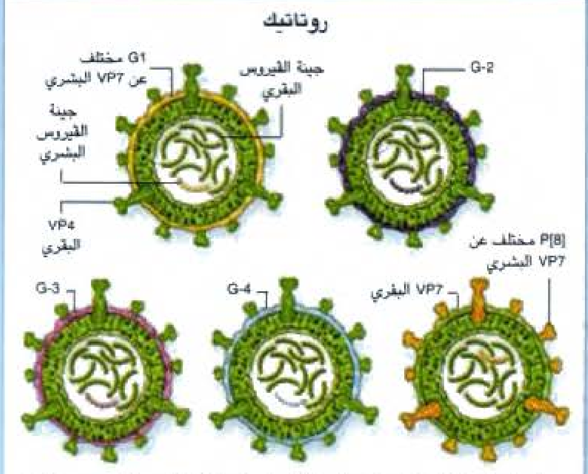
نوعان من لقاحات الروتاڤيروس التي ثبتت كفاءتها العالية حديثا في التجارب السريرية سيتم عرض أشكال لها في الأسفل.

روتاريكس



تصنعه شركة گلاكسو سميث كلاين - روتاريكس يتكون من سلالة واحدة من الروتاڤيروس المُعدية للإنسان والتي تعطي مناعة ضد سلالات كثيرة. ويحتوي اللقاح على أنواع مختلفة من البروتينات VP7 و VP4 و P[8] C-1 على التوالي. وبسبب أن هذا الڤيروس الآدمي يمكن أن يؤدي إلى حدوث المرض إذا كان بكامل كفاءته فقد أضعفه المنتج من خلال طريقة عادية لزراعة الأنسجة التي تمنعه من أن يؤدي لحدوث أعراض المرض ولكن تمكنه من التكاثر بدرجة كافية لتحفيز الاستجابة المناعية.

روتاتيك



تصنعه شركة Merck، يحتوي الروتاتيك على خمسة أشكال من الڤيروس متمايزة من بعضها وراثيا. هذه الأشكال ناتجة من مزج عشرة أنواع من جينات الروتاڤيروس التي تصيب الأبقار، مع واحد من خمسة أنواع من جينات الروتاڤيروس البشرية. ولذلك يتكون من ڤيروسات أساسا بقرية تحتوي على بروتين على السطح من ڤيروس بشري. أربع من هذه التشكيلات لديها جينة تكود للبروتين VP7، أو C-1، C-2، C-3، C-4. وواحد من هذه الأنواع يحمل جينة P8 شكل من أشكال البروتين VP4. والنتيجة النهائية هي لقاح خماسي التكافؤ يقي بخاصة ضد أربع سلالات بشرية من الروتاڤيروس وأكثرها انتشارا. إضافة إلى ذلك فيه كثير من الجينات البقرية التي تسبب أمراضا عند البشر.

الإنسان والريزس. وقد مزجوا الأنواع الأربعة في خليط يسمى اللقاح الرباعي التكافؤ ليعطي وقاية ضد السلالات الآدمية الأربع الأكثر انتشارا من الروتاڤيروس.

وفي عام 1991 منحت هيئة الغذاء والأدوية (FDA) شركة ويث إيرست (التي سميت فيما بعد ويث للصيدلانيات) الإذن بصنع واختبار هذا اللقاح، الذي تم إعطاؤه اسم «روتاشيلد». وعلى مدى السنوات الخمس التالية قامت بإجراء تجارب سريرية على نطاق واسع في الولايات المتحدة وفنلندا وفنزويلا للتحقق من سلامة

(*) Making a Rotavirus Vaccine



الطفل اندرو ـ كان احد افراد دراسة واسعة النطاق ـ تم إجراؤها لتقييم سلامة وكفاءة لقاح الروتاتيك.

وكفاءة وقدرة اللقاح روتاشيلد على إحداث استجابة مناعية على المدى الطويل. وفي عام 1998 تم ترخيص لقاح الروتاشيلد بوساطة هيئة الغذاء والدواء الأمريكية، كما قامت اللجنة المسؤولة عن اللقاحات في هيئة مكافحة الأمراض والأكاديمية الأمريكية لطب الأطفال بالتوصية بأن يلقح جميع الأطفال الأمريكيين روتينيا بهذا اللقاح. وفي غضون تسعة أشهر تلقى ما يزيد على 600 000 طفل نحو 1.2 مليون جرعة من لقاح الروتاشيلد.

وكان اتخاذ القرار متسرعا في ذلك الوقت، حيث كان من الضروري اختبار اللقاح على الأطفال السيئي التغذية في البلدان النامية، حيث كان معروفا أن اللقاحات الحية التي تؤخذ عن طريق الفم لأمراض أخرى ـ منها شلل الأطفال والكوليرا ـ أقل كفاءة من جهات أخرى في العالم. وظل أيضا سعر الجرعة مكلفا لمعظم الدول النامية. ولكن للمرة الأولى وُجدت في العالم طريقة لمحاربة الروتاڤيروس وكان الكثير منا يشعرون بالنشوة لهذا الانتصار.

وبعد ذلك حلت الكارثة في عام 1999 حيث عانى العديد من الأطفال إحدى المضاعفات الشديدة بعد أسبوعين من تناول اللقاح عندما دخل جزء من الأمعاء داخل الجزء الذي يجاوره (مثلما يدخل جزء من **المقراب** telescope داخل الآخر) مسببا انسدادا في الأمعاء يسمى الانغلاف. وهذه الحالة تسبب آلاما مبرحة ويجب إعادة الأمعاء بسرعة إلى وضعها الطبيعي بوساطة حقنة شرجية بالهواء أو السوائل أو بوساطة التدخل الجراحي. وفي أحوال نادرة تنثقب الأمعاء، ويموت الطفل. ولذلك أصدر مركز مكافحة الأمراض (CDC) قرارا بالإيقاف الفوري لبرنامج التطعيم، مُغرقة بذلك اللقاح الذي استغرق خمسة عشر عاما من الأبحاث والتجارب وتكلف عدة مئات الملايين من الدولارات لكي يطفو على السطح.

وقد تم مبدئيا تقدير نسبة حدوث انغلاف الأمعاء بنحو واحد لكل 2500 ملقح، مما اعتبر غير مقبول. ولكن الدراسات التالية أثبتت أن النسبة واحد لكل 11 000 (واحد لكل أحد عشر ألفا). وبعد ذلك قارن <.l. اسيمونسن> [في المعاهد الوطنية للصحة (NIH)] نسبة الخطورة طبقا للسن، ووجد أن الخطورة في الأطفال الأصغر من سن ثلاثة أشهر أقل منها في الأطفال الأكبر سنا. ولهذا فإن اللقاح إذا أعطي فقط للأطفال الصغار فإن نسبة الانغلاف تقل عشر مرات وربما واحد لكل 30 000.

وقد أدت هذه النتائج الجديدة إلى أسئلة جديدة: هل هذه الخطورة مقبولة في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث يتم قبول المصابين في المستشفى ونادرا ما يموتون بسبب الروتاڤيروس؟ هل كانت الخطورة مقبولة أكثر في البلاد النامية، حيث يموت واحد من كل 200 طفل مصابين بالروتاڤيروس؟ ولو أمكن إنقاذ 150 روحا من كل اختلاط بسبب الانغلاف ـ هل يمكن قبول هذه الخطورة؟ وبمعرفة هذه الإحصائيات ـ هل هو غير أخلاقي أن يُمنع اللقاح الذي يمكن أن ينقذ نصف مليون روح في العام؟ ومن دون الأخذ في الاعتبار نتائج تحاليل مقارنة الفوائد والمخاطر هل هو غير أخلاقي أن يسوّق اللقاح في الدول النامية في حين يتم سحبه من الولايات المتحدة؟

هنا دعا كل من مركز مكافحة الأمراض ومنظمة الصحة العالمية إلى عقد اجتماع بين صانعي القرار في الدول النامية. وبعد مناقشات حامية الوطيس ـ انحنى العلم للسياسة، حيث قال أحد صانعي القرار من ذوي الشأن من الهند «أنا أعلم أن هذا اللقاح سينقذ 100 000 طفل في وطني، ولكن عندما تحدث أول حالة انسداد أمعاء لن يغفر لي أحد موافقتي على استخدام لقاح تم سحبه من الولايات المتحدة ليستخدم في وطني.»

عودة إلى الطريق الصحيح(•)

استمر الباحثون في دراسة العلاقة بين اللقاح والانغلاف. فالأطفال الذين يصابون بالروتاڤيروس عن طريق العدوى لا يحدث عندهم انغلاف بنسبة أعلى من الأطفال الآخرين ـ إذًا لماذا يزيد اللقاح لذاته هذه الخطورة؟ بدأ البعض يشكّ في أن المشكلة خاصة بسلالات الريزس وليست ناتجة من جميع الأنواع الحية من لقاح الروتاڤيروس الذي يؤخذ بالفم.

ولثقتهم بأن مشكلة الانغلاف يمكن التغلب عليها ـ جدد اثنان من منتجي اللقاحات اهتمامهم بالروتاڤيروس. لقد قامت شركة گلاكسو سميث كلاين بتطوير برنامجها وتقدمت بلقاح جديد أحادي التكافؤ منتج كليا من سلالة آدمية واحدة تم إضعافها. ولأن العدوى الطبيعية بالروتاڤيروس لا يصاحبها حدوث الانغلاف، استنتج العلماء أنه بالمثل لن يتسبب اللقاح في زيادة حدوث هذا الاختلاط إضافة إلى أن الشركة ستقوم باختبار أطفال الدراسة ممن تراوح أعمارهم بين ستة و ثلاثة عشر أسبوعا ـ وهي فترة من العمر نادرا ما يحدث فيها الانغلاف. وفي الوقت نفسه أنتجت شركة «ميرك» لقاحا خماسي القوة يحتوي على خمس سلالات مزيج من البشرية والبقرية وهي موجهة ضد غالبية سلالات الروتاڤيروس. وكان علماء شركة ميرك يعلمون أن السلالات البقرية لم تكن تنمو أو تتكاثر مثل سلالة الريزس وأيضا لم تكن تسبب ارتفاعا بسيطا في الحرارة.

(•) Back on Track

التي حدثت لأطفال كثيرين ممن تم تطعيمهم بلقاح الريرس - وأيضا فإن الشركة ستقصر التجارب السريرية على الأطفال بعمر ستة إلى اثني عشر أسبوعا فقط.

واجهت كل من الشركتين طلب هيئة الغذاء والدواء الأمريكية بإجراء التجارب السريرية، لأن الهيئة أرادت التأكيد أن الجيل التالي من لقاح الروتافيروس سيكون أشد أمانا من «روتاشيلد». وصممت على أن تُجرى التجارب السريرية على أعداد كبيرة لاكتشاف أية خطورة مهما كان حجمها صغيرا - ناتجة من استخدام اللقاح. وكان الهدف في البداية 60 000 مشترك لكل تجربة وبذلك كانت أكبر وأغلى دراسات لاختبار الأمان لأي لقاح سبق اختباره قبل ترخيصه. ولم تكن فقط الاختبارات مرتفعة التكاليف ولكن الإجراء نفسه كان ذا خطورة - كل ذلك سينهار مباشرة لو أن نسبة الانغلاف بين الأطفال المطعمين زادت على نسبة الأطفال الذين لم يتم تطعيمهم - واستمرت التجارب تحفُّها بعض المخاوف.

والآن - بعد ست سنوات من جدل الانغلاف - بدأ رهان الروتافيروس يُؤتي ثماره. أتمت شركتا گلاكسو سميث كلاين وميرك التجارب السريرية، وكانت نتائج اللقاحين مشجعة ونتج منها 85 - 95% وقاية ضد الإسهال الشديد الناتج من الروتافيروس، إضافة إلى أن اللقاحين لم يُحدثا أي زيادة في نسبة الانغلاف عن الأطفال الذين لم يتم تطعيمهم.

وتم اختبار لقاح گلاكسو سميث كلاين «روتاريكس» Rotarix أولا في أمريكا اللاتينية. ومنذ عام 2004 حصل اللقاح على الموافقة من عشرين دولة وحديثا من الاتحاد الأوروبي وتتم مراجعته حاليا في الولايات المتحدة. وعلى العكس ركزت شركة ميرك هدفها على التسويق في الولايات المتحدة أولا - راغبة في أن تثبت أن لقاحها «روتاتيك» Rotateq يتميز بالسلامة هناك - قبل إدخاله إلى أي مكان آخر من العالم. وقد حازت الشركةُ الموافقةَ في المكسيك والولايات المتحدة - وتتوقع الحصول عليها في أوروبا هذا العام - وهذه الموافقات تمهد لإدخاله في دول عديدة.

وأيضا يهتم صانعو اللقاح في الدول النامية بالروتافيروس. ولقاح الروتافيروس لا يحتاج إلى تقانة الهندسة الحيوية المعقدة - فهو مثل لقاح شلل الأطفال يمكن إنتاجه باستخدام طرق زراعة الأنسجة التقليدية. وهذا في متناول أيدي الشركات الصغيرة - واليوم يوجد أكثر من عشر شركات منتجة للقاح في الهند والصين وأندونيسيا والبرازيل تُجهِّز لقاحا حيا للروتافيروس عن طريق الفم. وقد حصلت شركة صينية فعلا على الموافقة لبيع منتجها.

تحديات المستقبل(*)

إن توقع التوصل إلى لقاحات جديدة يثير الأمل في أن قبضة الروتافيروس سوف يتم كسرها قريبا. ولكن مازالت هناك بعض العقبات. لأن الكثير من صانعي القرار في الدول النامية لم يسمعوا حتى الآن عن الروتافيروس ولا يمكنهم فهم عواقبه المرعبة. وقد أسفرت الجهود الاستطلاعية في أكثر من أربعين دولة - قام بها ‹J. بريسي› و ‹D. U. باراشار› [من مركز مكافحة الأمراض] مع منظمة الصحة العالمية وبرنامج التقانة الملائمة في الصحة - عن أنهم مازالوا في بداية الطريق لتزويد صانعي القرار بما يحتاجون إليه من معلومات قبل أن يرحبوا باللقاح في دولهم. إضافة إلى أن المعلومات الأكيدة حول تناول اللقاحات الحية بالفم في أفقر مناطق العالم أمن وشديد الكفاءة مازالت ناقصة - إضافة إلى أن اللقاحات التي تكلف مئات الملايين من الدولارات لإنتاج كل منها - يجب أن يتحمل نفقاتها هؤلاء المسؤولون عن الـ135 مليون طفل الذين يولدون في العالم كل عام.

وإلى الآن مازال يجري بناء قوة الدفع، والكثيرون منّا يأملون أنه خلال عقد من الزمان سيمكن القضاء على هذا السبب الأعظم للإسهال والقاتل الرئيسي للأطفال في الدول النامية، وذلك بوساطة أقوى وأرخص الأسلحة التي تمتلكها حاليا ألا وهي التطعيم. وبمساعدة مجتمع دولي متعاون وقادر على التنفيذ سوف يمكن ضم الروتافيروس إلى قائمة الكائنات الدقيقة التي أمكن القضاء عليها بالتطعيم، مثل شلل الأطفال والجدري والدفتيريا، التي نُحيت جانبًا وصارت خاملة الذكر. ويأمل علماء الأوبئة أن كون هذا المرض قد أصبح من جديد خامل الذكر - كما تميز تاريخيا نظرا للجهل به حينئذ - شاهد حقيقي على قوة التطعيم. ■

(*) Future Challenges

المؤلف

Roger I. Glass

رئيس قسم الالتهابات المعدية المعوية الڤيروسية في مركز مكافحة الأمراض (CDC) وأستاذ مساعد للأطفال والصحة الدولية في جامعة إيموري. وهو أحد قادة علم الأمراض الوبائية. وتؤكد أبحاث أهمية اللقاحات في منع الأمراض - وهو مستشار لمنظمة الصحة العالمية والاتحاد الدولي للمناعة واللقاحات وبرنامج التقانة الملائمة للصحة - في عام 1988 حصل على جائزة باستور من «مبادرة لقاحات الأطفال» لأبحاثه على لقاح الروتافيروس - ويتقدم المؤلف بالشكر إلى ‹Ph. دورميتزر› [من كلية الطب في جامعة هارڤارد] لمساعدته الفعالة على رسم الأشكال الخاصة بهذه المقالة.

مراجع للاستزادة

Global Illness and Deaths Caused by Rotavirus Disease in Children. U. D. Parashar et al. in *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 9, No. 5, pages 565-572; May 2003.

The Future of Rotavirus Vaccines: A Major Setback Leads to New Opportunities. Viewpoint. R. Glass et al. in *Lancet*, Vol. 363, Issue 9420, pages 1547-1550; May 2004.

Safety and Efficacy of an Attenuated Vaccine against Severe Rotavirus Gastroenteritis. G. Ruiz-Palacios et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 354, pages 11-22, January 5, 2006.

Safety and Efficacy of a Pentavalent Human-Bovine (WC3) Reassortant Rotavirus Vaccine. T. Vesikari et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 354, pages 23-32; January 5, 2006.

Scientific American, April 2006

منابع القدرة المنمنمة(*)

مع ظهور البطاريات (المدخرات) النانوية، بدأت منابع القدرة أخيرا بالانكماش لتلحق ببقية العناصر الإلكترونية.

<Q. Ch> تشوي

انكمش الترانزيستور، الذي ظهر منذ عام 1947، من تكتل غير منسجم يصل ارتفاعه إلى نصف بوصة(1) إلى أداة يصل طولها إلى طول بضع مئات من الذرات فقط. وفي المقابل، تحسنت البطاريات (المدخرات) من حيث استطاعتها بمعدل يقارب واحد من خمسين.

تنشغل حاليا مختبرات بل، التي صنّعت أول ترانزستور، بإعادة اختراع البطارية. والهدف هو تطبيق التقنيات المستخدمة في تصنيع الترانزستورات لإنتاج - بالجملة - بطارية يمكن إدخالها مع الدوائر الإلكترونية الأخرى على شيبة(2). تقلّص هذه الأداة التي تسمى بطارية نانوية، تقاطيع مساريها (الكتروداتها) حتى السلّم النانوي.

يُمكّن تصميم البطارية النانوية من إبقائها هاجعة لما لا يقل عن 15 سنة. ربما كمنبع طاقة لمحسّ يراقب النشاط الإشعاعي أو لمحسّ يتعقب تراكم الكيماويات السامة. بعدئذ تكون قادرة على أن تصحو وتعطي على الفور دفقة من الطاقة العالية. كذلك يمكن أن يقود المفهوم إلى أولى البطاريات القادرة على تنظيف مخلفاتها وذلك بتحييد بذور المواد الكيماوية السامة في داخلها وجعلها متعادلة.

تنمية عشب نانوي(**)

تنبثق أصول البطارية النانوية من مغامرة مبكرة لمختبرات بل لاقتحام التقانة النانوية(3). ففي خريف عام 2002، كانت شركة تقانات لوسنت، الشريكة الأم لمختبرات بل، تحضّر لتأسيس اتحاد نيوجرسي للتقانة النانوية بالمشاركة مع حكومة الولاية ومؤسسة نيوجرسي للتقانة. وكانت الفكرة هي جعل أبحاث الشركة وما تطوره وما تقدمه من خدمات تصنيع النماذج الأولية في متناول باحثي التقانة النانوية في الصناعة والهيئات الأكاديمية والحكومية. وقد بدأ <D. بيشوب> [نائب رئيس أبحاث التقانة النانوية في مختبرات بل] بإلقاء محاضرات لباحثي الشركة كي يتبادلوا الأفكار حول كيفية إيصال أبحاثهم إلى تطبيقات مبتكرة تقدم لأعضاء الاتحاد كي يتابعوا تطويرها.

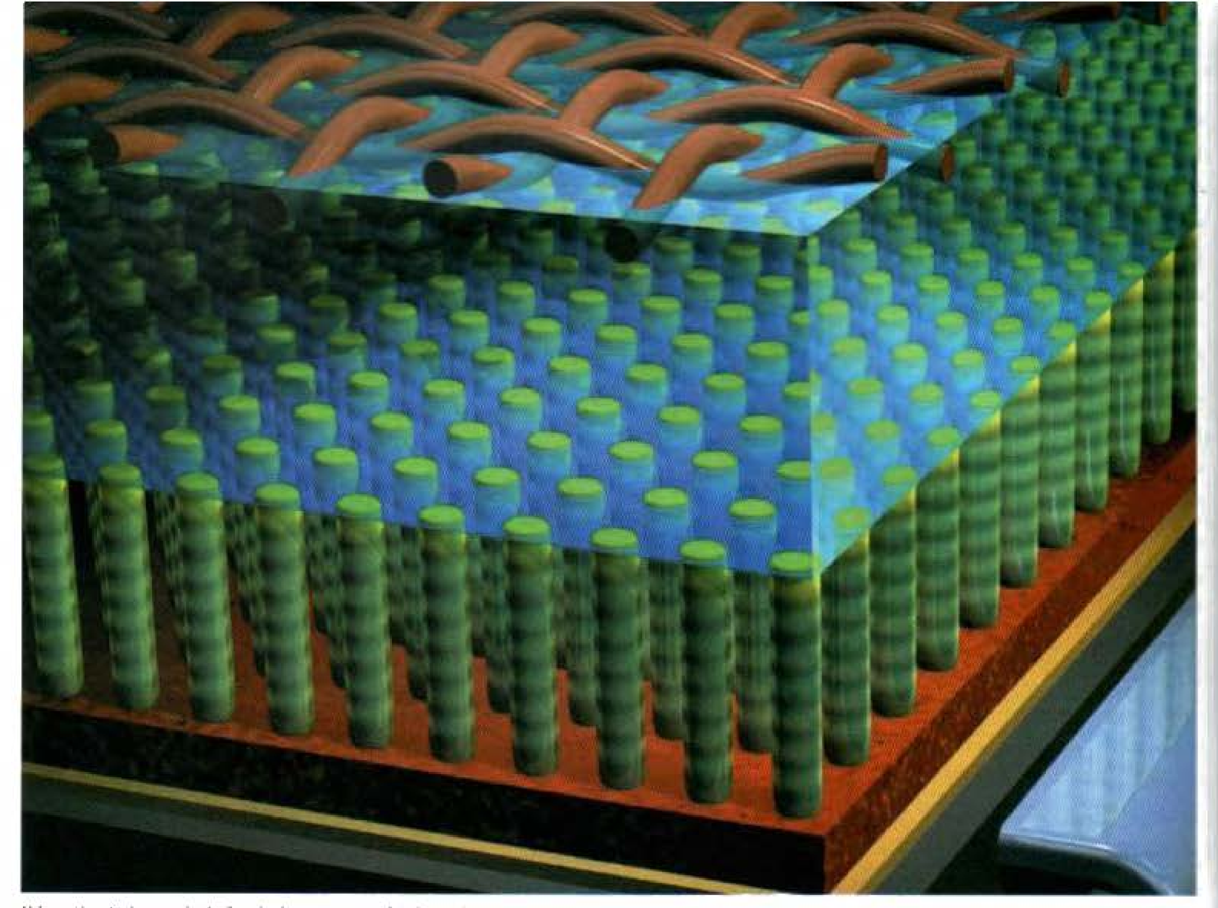
عمل <T. كروبنكن> [أحد محاضري مختبرات بل] على العدسات الميكروية السائلة، ذلك النوع الذي يوجد غالبا في الهواتف الحالية المزودة بكاميرات. تتكون هذه العدسات من قطيرات قادرة على تغيير خصائصها المحرقيّة (البؤرية) نتيجة تغير شكلها استجابة للجهد المطبق على السطح الذي تلامسه. يمكن لهذه السطوح، التي تسمى **السطوح المبلّلة كهربائيا** electrowetting، استجابة لجهد كهربائي مطبق أن تنقلب من **سطوح فائقة الكراهية للماء** superhydrophobic إلى **سطوح محبة للماء** hydrophilic.

إنّ خاصة الكراهية الفائقة للماء هي التي تساعد حبات المطر على التدحرج فوق ريش البط وفوق أوراق اللوتس. فالتوتر السطحي يجعل قطرات السائل تتكوّر، في حين أن السطح الصلب الذي ترقد عليه يطبق عليها قوى تجاذبية تشجع انتشارها عليه. فعلى سطوح المواد المحبة للماء، مثل الزجاج، يمتد الماء عليها. لكن على المواد الفائقة الكراهية للماء، تتكوّر القطيرات تماما، بحيث لا يظهر أي تفاعل محسوس مع هذه السطوح.

ثم يعلّل كروبنكن، أن بالإمكان التحكم في التفاعل الكيميائي بمساعدة **التبلّل الكهربائي** electrowetting انطلاقا من سلوك القطيرة على سطح فائق الكراهية للماء. فاقترح فكرة تتضمن صفوفا من أعمدة فائقة الكراهية للماء عرض كل منها من مرتبة النانومتر قادرة على أن تسلك سلوك التبلّل الكهربائي. وتماثل هذه الأعمدة تحت المجهر حقلا من «العشب النانوي» المجزوز جزّا منتظما. ويمكن صنع مثل هذا العشب النانوي بوساطة تقنيات صناعة الشيبات الميكروية النظامية، التي طورت عبر عقود لتعمل على السليكون. وعند تطبيق جهد على السائل، يمكن للعلماء إطلاق تفاعل يؤدي بالأعمدة لتصبح محبة للماء، ساحبة القطيرات نحو الأسفل كي تخترق الفجوات ما بين الأعمدة النانوية. عندئذ يمكن للسائل أن يتفاعل مع أي مركب يجثم في الأسفل. وخطرت لـ<كروبنكن> فكرة إمكان استعمال ذلك السائل ليولد قدرة في بطارية نانوية.

إنّ البطاريات في الأساس مفاعلات كيميائية. إذ تتكون البطارية الجاهزة القابلة للاستخدام عند الحاجة من مسريين (إلكترودين). أنود (مصعد) وكاثود (مهبط) في حمام من محلول كهرليتي. وتتفاعل مركّبات مادتي المسريين معا عبر الكهرليت لتولد إلكترونات. ولكن المشكلة هي حدوث هذه التفاعلات الكهركيميائية حتى عندما لا تكون البطاريات موصولة بأدوات فتخسر

(*) MINIATURIZED POWER
(**) Growing Nanograss
(1) inch
(2) chip
(3) nanotechnology، يذهب البعض إلى تسمية التقانة النانوية بأي تقانة تمكننا من التحكم في المادة ومناولتها بمقاييس من مرتبة مئات النانومتر وما دونها؛ ولكن البعض الآخر يرى أن هذا التعريف فضفاض إلى حد ما. (التحرير)



يتألف العشب النانوي من أعمدة عرض كل منها 300 نانومتر، بما يماثل أوراق العشب. ويشكل هذا مدخلا جديدا أصيلا لصنع بطارية عند إقحامه في بنيتها، فيمكن لها أن تبقي المحلول الكهربائي السائل فوق العشب النانوي إلى أن يصبح منبع القدرة جاهزا للعمل.

البطارية وسطيا ما بين 7 و 10 في المئة من قدرتها كل سنة عندما لا تكون في الخدمة.

تسخّر ما يسمى بالبطاريات الاحتياطية حواجز فيزيائية للحفاظ على انفصال الكهرليت عن الإلكترودات حتى تفعّل البطارية، فتعطي التفاعلات الكهركيميائية الهائجة الناتجة دفقة عالية من الطاقة. ويفرض التحدي الميكانيكي اللازم لإبقاء الكهرليت بعيدا عن الإلكترودات اللجوء إلى بطاريات ضخمة غليظة، فتجد من ثم استخداماتها في الحالات الطارئة بصورة رئيسية، مثل وحدات العناية المركزة في المستشفيات (المشافي) أو في غرف العمليات، وفي تطبيقات عسكرية مثل نظارات الرؤية الليلية أو الإضاءة بالليزر.

لقد هيّأ اكتشاف العشب النانوي إمكان تصنيع بطاريات احتياطية تسهل نمنمتها كثيرا. إضافة إلى ذلك، يشرح ‹كروبنكن› بأنه يمكن للباحثين أن يصمموا بطارياتهم لتفعّل جزءا فقط من حقل العشب النانوي كل مرة، عوضا عن جعل كامل الكيماويات تتفاعل مرة واحدة.

بدأت مختبرات بِلّ بتسويق مفهوم العشب النانوي حول العالم. ويقول ‹بيشوب› إنّ «الشركة لوسنت ليست شركة بطاريات لكنها ترغب في تطوير البطاريات تطويرا ثوريا.» وفي محاضرة ألقيت في أواخر عام 2003، استمعت شركة تدعى إمفيز mPhase إلى عرض من لوسنت حول البطاريات المعتمدة على التقانة النانوية. وكما يتذكر ‹S. سيمون› [نائب المدير التنفيذي للبحث والتطوير والهندسة في إمفيز]، فقد تركنا غرفة المحاضرة قائلين هذا رائع وهذه صناعة مباركة. كانت الشركة عندئذ شركة لتصنيع عناصر أجهزة فيديو DSL وأجهزة استقبال منزلية، منبثقة عن الشركة نوروك Norwalk, Conn.based Microphase، التي هي بدورها شركة إلكترونيات ميكروية الموجهة للصناعات العسكرية والفضائية وللاتصالات البعيدة.

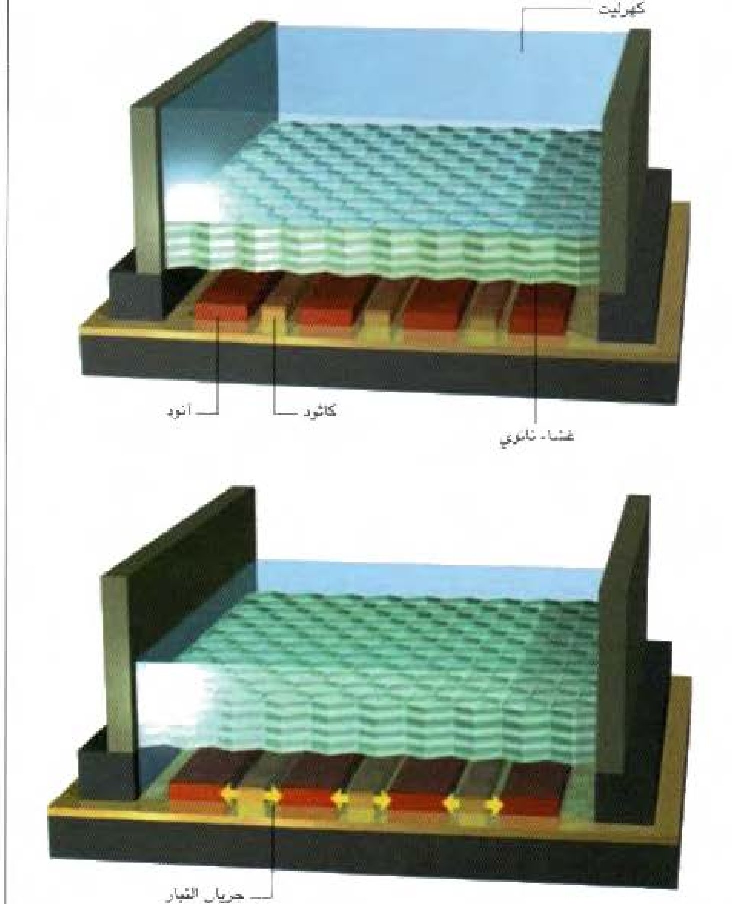
لقد سعى ‹R. دوراندو› [المدير التنفيذي الرئيسي للشركة إمفيز] ـ مع ما وصلت إليه عتاديات الاتصالات البعيدة لتصبح سوقا عادية للسلع ـ إلى أن يعيد طرح شركته كشركة مزوّدة للتقانة النانوية. وقد أراد على الخصوص أداة لا تحتاج إلى مدة طويلة جدا للتطوير وليس لها استعمالات طبية تحتاج إلى ربطها بالتجارب السريرية الإسعافية، ويمكن لها أن تخدم في سوق عسكرية مدعومة بأسعار أدوات التقانة النانوية ذات الأولوية التي تحكم سوق الإنتاج المبكر. فكانت «البطارية تلبي جميع هذه المطالب،» كما يوضح ‹سيمون›.

وفي الشهر 2004/3، وقّعت الشركة إمفيز اتفاقية تطوير مشترك لتسويق البطارية النانوية. ففي حين تتحرّى إمفيز عمّا يريده الزبائن المحتملون من البطارية لتصمم أدوات مربحة، تؤمن الشركة لوسنت التراخيص اللازمة للتقانة مقابل حقوق الملكية وفوائد الغرفة النظيفة البالغة تكلفتها 450 مليون

تصميم لبطارية نانوية(*)

تحافظ نسخة أولية لبطارية بنتها شركتا إمفيز ومختبرات بلْ بوساطة أغشية نانوية على الكهرليت مفصولا عن المسريين (الإلكترودين) الموجب والسالب، أي المصعد (الأنود) والمهبط (الكاثود)، ممّا يعطي عمرا طويلا للبطارية. ففي الحالة البدئية غير النشيطة (الشكل العلوي) تقع المصاعد المصنوعة من الزنك والمهابط المصنوعة من ثنائي أكسيد المنغنيز في رقع فوق أرضية البطارية، وهي منفصلة فيزيائيا بعضها عن بعض ويستقر فوقها غشاء مسامي يشبه قرص النحل مصنوع من السليكون ومغطى بطبقة من ثنائي أكسيد السليكون وبوليمر من فلوروكربون، وفوق هذا الحاجز يوجد المحلول الكهرليتي من كلور الزنك.

أمّا في الحالة النشطة (الشكل السفلي) فيخترق الكهرليت قرص النحل ليغمر بقع المصاعد والمهابط جميعها. وبمجرد اتصال المصاعد والمهابط عبر الكهرليت، سيتفاعل بعضها مع بعض لتولّد كهرباء.



دولار وكذلك مقابل الوصول إلى العلماء ذوي الخبرات في تصنيع السليكون التي تمتد إلى عقود.

السّعي لجعلها تعمل(**)

بحلول الشهر 2004/9، تمكّن العلماء من الوصول في مختبرهم إلى نموذج عملي قادر على توليد تيار كهربائي. وبغية الحصول على نسخة أولية، كان على الفريق إنشاء أعمدة سليكونية عرض كل منها قرابة 300 نانومتر ويبعد أحدها عن الآخر قرابة ميكرونين. وبغية توليد القدرة، وظّف الباحثون مركبات تستخدم عادة في البطاريات القلوية، فمادة الأنود مصنوعة من الزنك ومادة الأنود من ثنائي أكسيد المنغنيز. أمّا الأرضية السليكونية التي ترتكز عليها الأعمدة فكانت مغشاة بالزنك، في حين كانت الأعمدة نفسها مغطاة بثنائي أكسيد السليكون. وهذا سمح للمختبرين التحكم في جهد الأداة. كما كانت رؤوس الأعمدة النانوية مغشاة بطبقة من الفلوروكربون المشابهة للتفلون، وهي التي تبدي سلوك التبلل الكهربائي.

يؤكد <كروپنكن&gt» أن الأشياء البسيطة فكريا صعبة في جعلها تعمل كما يجب.» فقد شكل وضع الزنك فقط في الأسفل «تحديا هائلا يليه آخر،» كما يتذكر. فلترسيب معادن في أمكنة محددة، يستخدم العلماء، نموذجيا، عملية تدعى الطلي الكهربائي. ولكن الطلي الكهربائي لا يعمل مع الأكاسيد مثل ثنائي أكسيد السليكون الموجود في أداة العشب النانوي. لذا كان عليهم إيجاد طريقة يطوّعونها للوصول إلى أرضية السليكون متحررة من ثنائي أكسيد السليكون، مما يسمح للزنك بالنمو عليها، وفي الوقت نفسه عليهم الإبقاء على الأعمدة مغطاة بالأكسيد. وكان على المحلول أيضا أن يطلي الأرضية السليكونية والأعمدة كلتيهما بالأكسيد مع جعل طبقة الأرضية هي الأرق، ثم ينمّش الأكسيد لإزالته من الأداة كلها باستخدام غاز مؤين حتى تتخلص الأرضية من الأكسيد مع بقاء الأعمدة مغطاة به.

ومع ذلك فإن عملية الطلي الكهربائي لا تعمل على السليكون أيضا. ولهذا استعمل الباحثون تقنيات **الكيمياء الرطبة** wet-chemistry لترسيب النيكل أو التيتانيوم على الأرضية كطبقة أساس (بذرة) حتى يلتصق الزنك من خلال عملية الطلي الكهربائي. وقد احتاج إنماء طبقة الزنك نموا منتظما، بحيث لا توجد مرتفعات صغيرة من الزنك في بعض الأمكنة وعدم وجود الزنك في أمكنة أخرى، إلى جهود مضنية من المحاولة والخطأ اعتمادا على تغيير درجات الحرارة والتيارات الكهربائية والتراكيز الكيميائية. ويعلق <سيمون> قائلا: «بالنظر إلى الوراء، فإني أتعجب كيف أنّ ذلك استغرق سنة واحدة فقط.»

بعد أن حصل العلماء على **نسخة أولى** prototype جاهزة للتشغيل، بدؤوا بالحديث والنقاش مع زبائن محتملين. وقد حفزت هذه المناقشات إعادة تشكيل كاملة

(*) Design for A nanobattery
(**) Getting it to work

للبطارية. إذ كان التصميم الأولي عبارة عن شطيرة يقع الكاثود في أعلاها، ومحلول الكهرليت من كلوريد الزنك في الوسط، والعشب النانوي في الأسفل والآنود في القاع. فقد أبدى مسؤولون من مختبر أبحاث جيش الولايات المتحدة في آدلفي قلقهم ممّا يسببه التماس الدائم ما بين الكهرليت وأي من المسريين من تفاعلات كيميائية غير مرغوبة. وبعد إعادة التصميم، نجد أنّ الكهرليت حاليا يقبع في الأعلى وتشغل مركبات الآنود والكاثود بقعا مفصولة فيزيائيا عند القاع، ويعلّق حاجز سليكوني نانوي بينهما، فيمكّن هذا الحاجز عند تفعيل البطارية من نفاذ الكهرليت ليغمر المساري.

استخدم الفريق في الأصل الأعمدة النانوية لفصل الكهرليت عن الآنود لأن الأعمدة احتلت أقل الحجوم، مبدية سطوحا أكبر للتفاعلات الكيميائية بين هذه المساري. ولكن صعوبة تصنيع أعمدة البطارية النانوية المصممة دفع بالباحثين إلى تطوير غشاء على شكل قرص عسل نانوي لعزل الكهرليت عن المساري. وإنّ إنشاء غشاء كهرباني التبلل ذي مسام على مدى 20 ميكرونا ورقيقا وبجدران رهيفة سمكها قرابة 600 نانومتر كان أيضا تحديا كبيرا. فقد استعمل العلماء، في البدء، البلازما لتنميش بنية قرص العسل الرهيفة بدءا من رقائق[1] سليكونية مغطاة بثنائي أكسيد السليكون؛ ثم قاموا بتنمية ثنائي أكسيد السليكون على جدران مسامات السليكون العاري في أفران سخنت حتى الدرجة 1000 سلزية شربت بالأكسجين. وأخيرا طلوا قرص العسل كاملا بالفلوروكربون.

لقد طوّر الباحثون أولى العينات المعاد تصميمها في الشهر 2005/10. إنّ إحدى أهم المزايا الكبيرة للمنظومة الجديدة هي أنها تساعد الفريق على تجنب الشروط الدقيقة والصعبة المطلوبة لنمو طبقة آنود منتظمة وسط غابة من الأعمدة النانوية كل مرة يراد اختبار تركيبات جديدة من الآنود والكاثود. وعوضا عن ذلك، يمكن للباحثين ببساطة وضع رزم المساري (البقع) على سطوح من دون معالم. في الوقت نفسه، فإنّ الخبرة التي اكتسبوها في الطلي الكهرباني تجعل إنشاء البقع أسهل بكثير، كما يشير <سيمون>. وتتعاون حاليا مختبرات بِلْ والشركة إمفيز مع جامعة روتكرز في إدخال كيمياء البطاريات المعتمدة على الليثيوم التي توجد في الكاميرات الرقمية والهواتف الخلوية.

قد تسمح البطارية النانوية أيضا باستخدام منبع طاقة أكثر صداقة للبيئة من مثيلاتها مما يتضمن مركبات تستطيع دفن الكهرليت. فيقول <كروبنكن>: «إنّ ذلك سيحفظها من أن يتسرب الكهرليت إلى الأرض أو يتسرب من البطارية إلى جسد الجندي، في حال إصابته.» وقد تستعمل أيضا بنى نانوية بلاستيكية مكان السليكون، ممهدة بذلك الطريق إلى بطاريات نانوية مرنة؛ كما يقول <سيمون>.

لا يبحث العلماء عن بديل للبطاريات الحالية، مادام إنتاجها بالجملة «لا يكلف سوى أجزاء من السنتات لكل بطارية AA،» كما يقول <كروبنكن>، بل يهدفون عوضا عن ذلك، إلى تطبيقات أكثر خصوصية، مثل المحسّات التي تلقى من الطائرات العسكرية، التي تستعمل مرسلاتها الراديوية لمرة أو مرتين فقط خلال عمرها، لترسل إشارة تنبئ بوجود دخلاء فضوليين، على سبيل المثال، أو وجود سميات أو إشعاع. «وإذا لم تر المحسّات أية إشارات ذات أهمية، ليس عليها أن ترسل، لكنها إذا استشعرت ذلك فستحتاج إلى الكثير من الطاقة،» كما يشرح <كروبنكن> يمكن أن يكون الخيار الآخر لأدوات ترصد التغيرات البيئية لإرسال إشارات على مسافات واسعة مما يخفض عدد المحسّات اللازمة. وقد تدخل بطاريات الطوارئ الاحتياطية أيضا في الزروع الطبية أو في الهواتف الخلوية أو في أطواق الإرسال الراديوية المركبة على الحيوانات الأليفة.



يفصل غشاء نانوي الكهرليت عن المساري (الإلكترودات) في تصميم حديث للبطارية.

يبدأ الفريق حاليا بالنظر في نسخة من بطارياتهم القابلة لإعادة الشحن. فيمكن لنبضة تيار تمر عبر البطارية المستنفدة أن تسبب تسخين السطح الذي يرتكز عليه الكهرليت، مما قد يؤدي إلى تبخّر طبقة رقيقة من السائل مُجْبِرة القطيرات على القفز عائدة إلى قمة البنية النانوية. «إنّ هذا ممكن من حيث المبدأ، لكنه في الواقع بعيد المنال،» كما يحذر <كروبنكن>؛ إذ تتوقع الشركة إمفيز على سبيل المثال، الحصول على عينات منتجة لتزويد المتبنين الأوائل في غضون سنتين أو ثلاث. وستوضح البطاريات النانوية كيف أن منابع القدرة بدأت أخيرا لتلحق بثورة النمنمة التي وجّهت لعقود صناعة عناصر الإلكترونيات الأخرى. ■

(1) wafer

المؤلف

Charles Q. Choi

هو كاتب له مساهمات متعددة في مجلة ساينتفيك أمريكان.

مراجع للاستزادة

From Rolling Ball to Complete Wetting: The Dynamic Tuning of Liquids on Nanostructured Surfaces. T. N. Krupenkin, J. A. Taylor, T. M. Schneider and S. Yang in *Langmuir*, Vol. 20, pages 3824–3827; May 11, 2004.

A film about one phase of development of the nanobattery is available at **www.mphasetech.com/video/mphase.mov**

A Novel Battery Architecture Based on Superhydrophobic Nanostructured Materials. V. A. Lifton and S. Simon. **www.mphasetech.com/nanobattery_architecture.pdf**

Scientific American, February 2006

وهم الثقالة(*)

لعلّ قوة الثقالة وأحد أبعاد الفضاء قد تولّدا من خلال تلك التفاعلات الغريبة بين الجسيمات والحقول الموجودة في عالم بأبعاد أقلّ.

«ج. مالداسينا»

هناك ثلاثة أبعاد مكانية مرئية حولنا ـ فوق/تحت، يمين/يسار، أمام/خلف. وإذا أضفنا الزمن إلى هذا الخليط (البعدي) ينتج مزيج رباعي الأبعاد من الفضاء والزمان يعرف **بالزمكان** space-time. ومن ثم، فنحن نعيش في كون رباعي الأبعاد أوَ ليس الأمر كذلك؟

ومما يدعو للدهشة أن بعض النظريات الحديثة في الفيزياء يتنبأ بإمكانية أن يكون أحد أبعاد المكان الثلاثة وهمًا ـ أي إن الجسيمات والمجالات التي تصنع الواقع تتحرك في فضاء ثنائي البعد. ومن الممكن كذلك أن تكون الثقالة(1) جزءا من الوهم؛ أي إنها قوة غير موجودة في الفضاء الثنائي البعد وإنما تتصيّر(2) مع الظهور الوهمي للبعد المكاني الثالث.

وبصورة أكثر دقة، فإن هذه النظريات تتنبأ بأن عدد الأبعاد المكانية يعتمد على منظورنا للأمر؛ فمن الممكن للفيزيائيين أن يتصوروا الواقع على أنه يخضع لمنظومة من القوانين (التي من بينها قانون الثقالة التجاذبي) في فضاء ثلاثي الأبعاد أو، بصورة مكافئة، يتصورونه على أنه يخضع لمنظومة أخرى من القوانين في فضاء ثنائي البعد (يخلو من الثقالة). وعلى الرغم من الاختلاف الجذري بين المنظورين، فإنهما يتمكنان من وصف جميع ما نراه وجميع البيانات التجريبية التي لدينا والمتعلقة بكيفية عمل الكون المحسوس. ولن تكون لدينا الوسيلة لمعرفة أحقية أي من المنظورين.

ولا شك أن هذا المشهد يشد الانتباه، مع أن هناك ظاهرة مثيلة تحدث في الحياة اليومية: فالهولوگرام(3) عبارة عن شيء ثنائي البعد، ولكن عند النظر إليه في ظروف إضاءة مناسبة فإننا نرى صورة ثلاثية الأبعاد. إن جميع المعلومات القادرة على توصيف الصورة الثلاثية الأبعاد إنما تكون موجودة بشكل مشفّر في الهولوگرام الثنائي البعد. وبالمثل فإنه من الممكن، بموجب نظريات الفيزياء الحديثة، أن يكون الكون بجملته من نوع الهولوگرام.

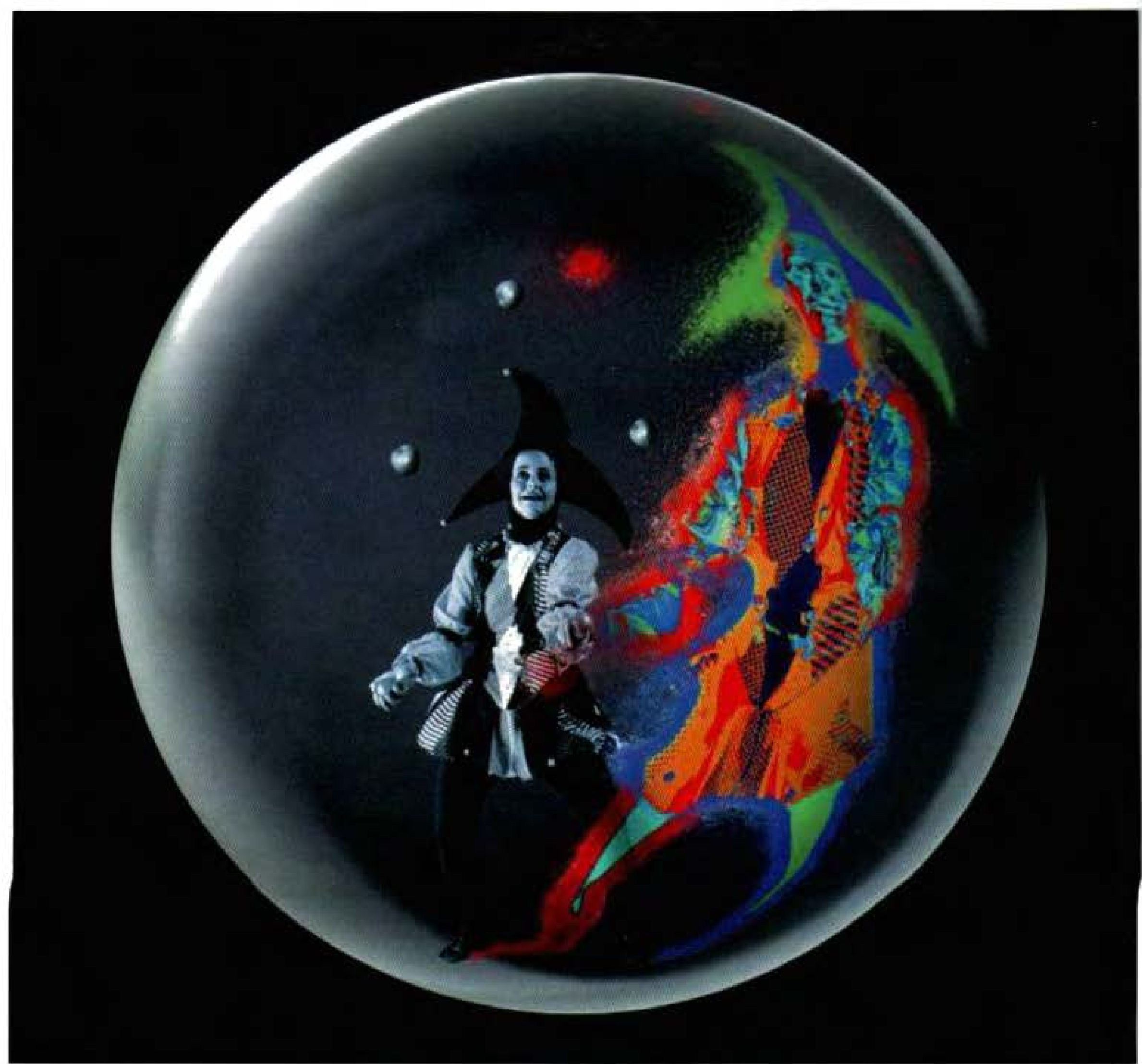
إن الاهتمام بالوصف الهولوگرافي ليس مجرد أمر ذي طبيعة فكرية أو فلسفية؛ فالإجراءات الحسابية التي تكون صعبة في منظور معين قد تصبح سهلة نسبيا في المنظور الآخر، ومن ثم فإن بعض المسائل غير القابلة للمعالجة في الفيزياء يتأتى حلها بسهولة. على سبيل المثال، لقد أثبتت النظرية أنها مفيدة في تحليل إحدى النتائج التجريبية في فيزياء الطاقة العالية. إضافة إلى ذلك فإن النظريات الهولوگرافية تمثل طريقة جديدة للبدء ببناء نظرية كمومية للثقالة(4) ـ أي نظرية للثقالة تأخذ بالاعتبار مبادئ الميكانيك الكمومي. وتعد النظرية الكمومية للثقالة مكونا محوريا لأي جهد يهدف إلى توحيد جميع القوى في الطبيعة، وهي تلزم لتفسير ما يجري داخل الثقوب السوداء ولتفسير ما جرى في الأجزاء النانوية(5) الأولى التي تلت **الانفجار الأعظم** Big bang. إن النظريات الهولوگرافية تزوّدنا بما قد يكون حلول تلك الألغاز التي استعصت على الحل والمتعلّقة بفهم طبيعة النظرية الكمومية للثقالة.

تزاوج عسير(**)

تعتبر النظرية الكمومية للثقالة هدفا يجدّ في البحث عنه جيل كامل من الفيزيائيين نظرا لقدرة القوانين الكمومية على وصف جميع الظواهر الفيزيائية باستثناء الثقالة، مما يجعل الوصف الكمومي إطارا شموليا للنظريات الفيزيائية. لذلك فإن عدم اندراج نظرية الثقالة فيه يعد أمرا غير منطقي. لقد نشأت النظرية الكمومية، التي بلغت من العمر 80 عاما، لوصف سلوك الجسيمات والقوى في العوالم الذرية ودون الذرية. ففي مثل هذه المستويات من الأبعاد تصبح التأثيرات الكمومية ذات أهمية. إن الأجسام لا تمتلك مواضع أو سرعات محددة بموجب النظرية الكمومية وإنما يتم وصفها بدلالة احتمالات وموجات تشغل حيزا من الفضاء. وفي العالم الكمومي، وعلى المستوى الأساسي يكون كل شيء في حالة تدفق دائم، ويشمل ذلك المكان الخاوي (الخلاء)، الذي هو في الحقيقة مملوء بجسيمات افتراضية تظهر وتختفي من الوجود بشكل مستمر.

على النقيض من ذلك، فإن أفضل نظرية يمتلكها الفيزيائيون للثقالة، أي النسبية العامة(7)، هي كلاسيكية في جوهرها (أي غير كمومية). إن عمل أينشتاين البارز، والمتمثل

(*) THE ILLUSION OF GRAVITY
(**) A Difficult Marriage
(1) gravity
(2) materialize
(3) انظر "Information in the Holographic Universe," by J. D. Bekenstein, *Scientific American*, August 2003
(4) quantum theory of gravity
(5) nanoseconds
(6) انفجار كوني هائل
(7) general theory of relativity



تربط النظرية الهولوكرافية بين مجموعة من القوانين الفيزيائية الصالحة داخل منطقة حجمية ما وبين مجموعة مختلفة من القوانين الفيزيائية الصالحة في السطح الحدي لهذه المنطقة، وقد مُثِّل ذلك في الشكل بالعلاقة بين اللاعب الساحر وصورته الملوّنة الثنائية البعد. تتضمن القوانين الحدية جسيمات كمومية بشحنات لونية تتفاعل معا تماما مثل الكواركات والكليونات في فيزياء الجسيمات المعيارية. أما القوانين الداخلية فهي عبارة عن نوع من نظرية الأوتار string theory وتتضمن قوة الثقالة التي من الصعب وصفها بدلالة الميكانيكا الكمومية ومع ذلك فالفيزياء على السطح وتلك في الداخل متكافئتان، مع أنهما تمثلان وصفين مختلفين بشكل جذري.

في النسبية العامة، يبيّن أن وجود المادة أو الطاقة يؤدي إلى انحناء الزمكان وأن هذا الانحناء يحرف مسارات الجسيمات، تماما كما ينبغي أن يحدث للجسيمات في حقل تجاذب ثقالي. إن النسبية العامة نظرية جميلة، ومعظم تنبؤاتها قد تم التحقق منها بدرجة كبيرة من الصحة.

وفي نظرية معهودة كالنسبية العامة، تمتلك الأجسام مواضع وسرعات محددة، مثل الكواكب في حركتها حول الشمس. ومن تعويض قيم هذه المواضع والسرعات (وكتل هذه الأجسام) في معادلات النسبية العامة يتم استخلاص انحناء الزمكان الذي يمكننا من معرفة تأثير الثقالة في مسارات الأجسام هذه. وأكثر من ذلك فإن الفضاء الخالي أملس تماما بغض النظر عن مستوى تفحّصنا له، فهو مسرح الأحداث الخالي من أيّ تجعّدات والذي تعيش خلاله المادة والطاقة بحرية.

إن مشكلة إيجاد صياغة كمومية للنسبية العامة لا تكمن فقط في أن الجسيمات على مستوى الذرات والإلكترونات لا تمتلك مواضع وسرعات محددة، وإنما الأسوأ من ذلك أنه بموجب المبادئ الكمومية يصبح الزمكان ذاته على المستوى الأكثر دقة، أي في أبعاد يحددها ثابت پلانك (10[illegible] cm)، مثل الرغوة الهائجة شبيها ببحر الجسيمات

الافتراضية التي تملأ الفضاء الخالي. وعندما تصبح المادة والزمكان بهذه الصورة فما الذي تتنبأ به معادلات النسبية العامة؟ الإجابة هي أن هذه المعادلات تصبح غير ملائمة في هذه الحالة. وهكذا يصل بنا افتراضنا خضوع المادة لقوانين الميكانيك الكمومي وخضوع الثقالة للنسبية العامة إلى تناقضات رياضياتية. إن ما يلزم هو نظرية كمومية للثقالة (أي نظرية للثقالة تنضوي في الإطار الكمومي).

وفي معظم الحالات لا يشكل التناقض المشار إليه بين الميكانيك الكمومي والنسبية العامة مشكلة، لأنه في أغلب الحالات تكون إمّا التأثيرات الكمومية أو التأثيرات الثقالية صغيرة جدا، بحيث نستطيع إهمال أحد النوعين من التأثيرات أو التعامل معه بصورة تقريبية. ولكن عندما يكون انحناء الزمكان كبيرا تصبح الاعتبارات الكمومية للثقالة ذات أهمية. ومثل هذا الانحناء الكبير يستلزم تركيزا كبيرا جدا للكتلة، أي كتلة ضخمة لإحداثه، بحيث إن الانحناء الناجم عن كتلة الشمس يعد صغيرا جدا مقارنة بالانحناء الذي تبرز عنده التأثيرات الكمومية للثقالة.

ومع أن هذه التأثيرات مهملة تماما في الوقت الحالي فقد كانت ذات أهمية كبيرة في بداية الانفجار الأعظم، ومن هنا تتضح ضرورة صياغة نظرية كمومية للثقالة لوصف هذه البداية. وكذلك فإن هذه النظرية تلزم لفهم ما يحدث في مركز الثقوب السوداء: إذ إن المادة هناك تكون قد سحقت وتموضعت في منطقة من الزمكان بانحناء كبير جدا. ولأن الثقالة تتضمن انحناء الزمكان فمن الضروري أن تكون النظرية الكمومية للثقالة نظرية كمومية للزمكان أيضا؛ أي إنها ينبغي أن توضح ممّ تتكون الرغوة الزمكانية المشار إليها قبل قليل، ومن ثم فإن هذه النظرية ستزودنا بمنظور جديد كليا لطبيعة الزمكان عند أدق المستويات للواقع.

إن نظرية الأوتار التي بدأ بعض الفيزيائيين النظريين باستكشافها منذ سبعينات القرن الماضي تعد مقاربة واعدة لنظرية ثقالة كمومية، لكونها تتغلب على بعض العقبات التي يواجهها مشروع صياغة نظرية كمومية للثقالة مبنية بشكل منطقي ومتناغم. ولكن نظرية الأوتار مازالت في مرحلة البناء وليست مفهومة تماما حتى الآن. فنحن الفيزيائيين النظريين نعرف فقط المعادلات التقريبية التي تحكم سلوك الأوتار ولا نعرف هذه المعادلات بشكلها الدقيق. أيضا فنحن لا نعرف ما هي المبادئ الأساسية الموجِّهة التي ستسمح بتفسير شكل المعادلات، ولا ندري كيف نستخلص العديد من الكميات الفيزيائية من هذه المعادلات.

وفي السنوات الأخيرة، تمكن فيزيائيو الأوتار من التوصل إلى نتائج مهمة ومثيرة بخصوص قدرة نظرية الأوتار على توضيح ماهية الزمكان الكمومي. ولن أتناول نظرية الأوتار بتفصيل كبير هنا[1] وإنما سأركز الضوء على واحد من أهم التطورات الحديثة التي نجمت عن الأبحاث المتعلقة بنظرية الأوتار والتي أدت إلى وصف كمومي للثقالة مكتمل ومترابط منطقيا فيما يُعرف بالزمكان ذي الانحناء السالب، وهي فكرة تُطرح لأول مرة

من الممكن لنظرية كمومية للثقالة أن تزودنا بمنظور جديد عن ماهية الزمكان.

وتبدو النظريات الهولوكرافية صحيحة لمثل هذا النوع من الزمكان.

الزمكان ذو الانحناء السالب(**)

إننا معتادون على الهندسة الإقليدية، حيث المكان مستو وليس منحنيا، وهي هندسة الأشكال المرسومة على ورقات مستوية. وهذه الهندسة تصف، بدرجة عالية من الدقة، العالم المحيط بنا: فالخطوط المتوازية لا تلتقي، وجميع مسلّماتها الأخرى صحيحة.

ونحن معتادون كذلك على بعض الفضاءات المنحنية. وهناك نوعان من الانحناءات: الموجب منها والسالب. وسطح الكرة يعد مثالا لأبسط الفضاءات ذات الانحناءات الموجبة. فللكرة انحناء موجب وثابت، بمعنى أن درجة انحنائها ثابتة عند جميع المواضع على السطح (وليس كسطح البيضة مثلا الذي يزداد انحناؤه عند طرفيها.)

ومن أبسط الفضاءات ذات الانحناء السالب **الفضاء الزائدي (الهذلولي المقطع)** hyperbolic space، وهو بالتعريف الفضاء ذو الانحناء السالب والثابت. وقد شد هذا النوع من الفضاءات اهتمام العلماء والفنانين على

نظرة إجمالية/ عوالم متكافئة(*)

- **بموجب نظرية لافتة للنظر، فإن كونًا موجودا في فضاء ثنائي البعد وبدون ثقالة قد يكون مكافئا تماما لكون ثلاثي الأبعاد يتضمن الثقالة. فمن الممكن للكون الثلاثي الأبعاد أن ينبثق عن الكون الثنائي البعد بصورة مماثلة لانبثاق الصورة الهولوكرافية من الهولوكرام.**
- **يوجد الكون الثنائي البعد على حدود الكون الثلاثي الأبعاد، وتبدو الفيزياء عند السطح كما لو كانت كواركات وكليونات متفاعلة مع بعضها بقوة. أما في الفضاء الداخلي، فتتضمن الفيزياء نظرية كمومية للثقالة ـ وهو أمر شبيه بما يحاول فيزيائيو الأوتار string theorists عمله منذ عقود.**
- **يزودنا هذا التكافؤ بطريقة جديدة لفهم خصائص الثقوب السوداء، التي تستلزم مزيجا ملائما من النظرية الكمومية والثقالة. ومع أنه لم يتم البرهان بالدقة اللازمة على الرياضيات المتعلقة بهذه النظرية، فإنها تبدو مفيدة في تحليل نتائج تجربة حديثة في فيزياء الطاقة العالية.**

(*) Overview / Equivalent Worlds
(**) Negatively Curved Spacetimes
(1) انظر: "The string Theory Landscape," by Raphael ousso - Joseph Polchinski, Scientific American, September 2004

حدٍّ سواء. لقد أنتج <M. C> إيشر› العديدَ من الأشكال الجميلة لهذا النوع من الفضاءات يظهر أحدها *في هذه الصفحة*. وصورته تماثل خريطة مستوية للفضاء. إن الكيفية التي تبدو بها السمكة أصغر فأصغر هي مجرد نتاج صنعي لتمثيل الفضاء المنحني على رقيقة مستوية، ويشبه ذلك كيفية تمدّد وتمطّط البلدان القريبة من القطب عند تمثيلها بخريطة مستوية للكرة الأرضية.

وبتضمين الزمان في هذا السياق، يستطيع الفيزيائيون، بشكل مماثل، دراسة الزمكان ذي الانحناء الموجب والسالب. وأبسط أنواع الزمكان ذي الانحناء الموجب يعرف باسم **فضاء دوستر** de Sitter Space؛ وذلك تقديرا للفيزيائي الهولندي <W.> دوستر› الذي أدخل هذا المصطلح. ويذهب معظم علماء الكون إلى أن الكون في مراحله المبكرة جدا كان قريبا في شكله الزمكاني من هذا الصنف من الفضاءات. ومن الممكن كذلك أن يكون الكون بالشكل ذاته في المستقبل البعيد بسبب التسارع الكوني. وبشكل معاكس، إن أبسط أنواع الفضاءات من ذوات الانحناء السالب يدعى **فضاء ضديد دوستر** anti- de Sitter space، والذي يشبه **الفضاء الهذلولي** hyperbolic Space باستثناء أن له اتجاها زمانيا أيضا. وعلى النقيض من الكون الذي نعيش فيه، والذي يتمدد، فإن فضاء ضديد دوستر هذا لا يتمدد ولا يتقلص وإنما يبدو بالهيئة ذاتها في جميع الأزمنة. ومع هذا الاختلاف فإن الفضاء النقيض هذا يبدو مفيدا في بناء مشروع نظريات كمومية للزمكان والثقالة.

وإذا ما مثلنا الفضاء الزائدي كقرص، وذلك باتباع طريقة ‹إيشر› المشار إليها قبل قليل، فإن فضاء ضديد دوستر سيبدو كما لو كان أقراصا متراصة مشكلة أسطوانة صلدة (*انظر الإطار في الصفحة* 72) حيث يدلّ المحور الموازي لطول الأسطوانة على اتّجاه الزمان. وكما أنه من الممكن للفضاء الهذلولي أن يكون له أكثر من بعدين مكانيين فإننا نتوقع أن يمتلك فضاءُ ضديد دوستر، والأكثر قربا لزمكان كوننا ذي الأبعاد المكانية الثلاثة، طبعةَ إيشر بأبعاد ثلاثة كمقطع عرضي لأسطوانته.

إن للفيزياء في فضاء ضديد دوستر خصائص غريبة. فمثلا لو كنت تطفو بحرية أينما تريد في هذا الفضاء فإنك ستشعر كما لو كنت

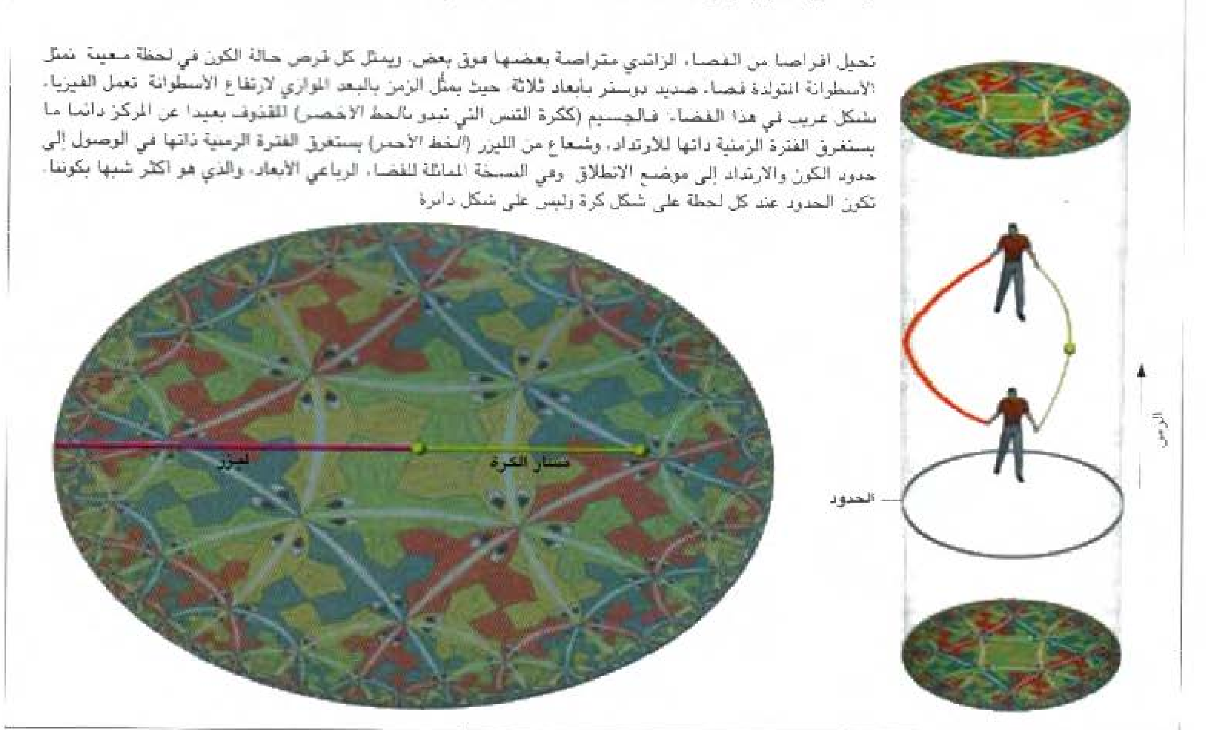


يمثل رسم إيشر في الشكل (*في الأعلى*) الفضاءَ الزائدي (الهذلولي) **hyperbolic space. وفي الواقع إن لكل سمكة الحجم ذاته، والحد الدائري ذو بعد لامتناه عن المركز. إن عملية إسقاط الفضاء الهذلولي الحقيقي على شكل صورة كما في هذا الرسم تؤدي إلى حشر الأسماك المبعدة لتوائم الفضاء اللامتناهي في الحجم فيتسع له داخلُ الدائرة المحددة والمنتهية الحجم. يكون المكان متحنيا بشكل كبير عند غياب عملية الإسقاط وأثر الحشر. ويمثل الشكل *في الأسفل* الصورة الحقيقية لأي مقطع عرضي حيث يبدو كسرج الفرس له عدّة طيّات.**



الفضاء ذو الانحناء السالب(*)

تتضمن النظرية الهولوكرافية فضاء بانحناء سالب يعرف باسم فضاء ضديد دوستر



تخيل أقراصا من الفضاء الزائدي متراصة بعضها فوق بعض. ويمثل كل قرص حالة الكون في لحظة معينة. تمثل الأسطوانة المتولدة فضاء ضديد دوستر بأبعاد ثلاثة، حيث يمثَّل الزمن بالبعد الموازي لارتفاع الأسطوانة. تعمل الفيزياء بشكل غريب في هذا الفضاء: فالجسيم (ككرة التنس التي تبدو بالخط الأخضر) المقذوف بعيدا عن المركز دائما ما يستغرق الفترة الزمنية ذاتها للارتداد، وشعاع من الليزر (الخط الأحمر) يستغرق الفترة الزمنية ذاتها في الوصول إلى حدود الكون والارتداد إلى موضع الانطلاق. وفي النسخة المماثلة للفضاء الرباعي الأبعاد، والذي هو أكثر شبها بكوننا، تكون الحدود عند كل لحظة على شكل كرة وليس على شكل دائرة.

في قاع بئر تثاقلية. وأي جسم تقذفه سيرتد إليك سريعا. ومما يدعو للدهشة أن الزمن اللازم لعودة الجسم إليك لا يعتمد على سرعة القذف، وإنما يكمن الفرق بين سرعات القذف المختلفة في أن الجسم المقذوف بسرعة أكبر سيبتعد عنك أكثر قبل عودته. وفيما لو أرسلت ومضة ضوئية تتألف من فوتونات تسير بأقصى سرعة ممكنة (سرعة الضوء)، فإنها ستصل إلى اللانهاية(1) ثم تعود إليك خلال فترة زمنية منتهية ومحدودة. ومن الممكن لهذا الأمر أن يحدث لأن الجسم يعاني تقلصا في الزمن بمقدار كبير إلى الدرجة التي تريدها كلما ابتعد عنك أكثر فأكثر.

الهولوكرام(**)

إن لفضاء ضديد دوستر، مع كونه لامتناهيا، حدودا توجد في اللانهاية. ولتمثيل هذه الحدود على الرسم يستخدم الفيزيائيون والرياضياتيون مقياسا للطول غير منتظم يشبه ذلك المستخدَم في رسم إيشر المذكور آنفا، مما يمكنهم من حشر المسافة اللامتناهية في الكبر ضمن مسافة محدودة ومتناهية. وهذه الحدود تشبه المحيط الخارجي لطبعة إيشر أو سطح الأسطوانة الصلدة التي سبق وأشرنا إليها. في مثال الأسطوانة يكون للحدود بعدان، يمثل أحدهما المكان (البعد الدائري حول الأسطوانة) ويمثل البعد الآخر الزمان (المحور الموازي لطول الأسطوانة). وفي فضاء ضديد دوستر الرباعي الأبعاد يكون لحدوده بُعدان مكانيان وبُعد واحد للزمان. وتماما مثلما حدود طبعة إيشر عبارة عن دائرة، تكون حدودُ فضاء ضديد دوستر عند أية لحظة زمنية كرة. وعند هذه الحدود يأتي دور الهولوكرام في النظريات الهولوكرافية.

ببساطة، تكمن الفكرة الأساسية في أن النظرية الكمومية للثقالة داخل زمكان فضاء ضديد دوستر تكافئ تماما نظرية كمومية اعتيادية لجسيمات تعيش على حدود هذا الزمكان. وإذا كان هذا صحيحا فإننا نستطيع استخدام النظرية الكمومية للجسيمات (والمفهومة جيدا نسبيا) لتعريف نظرية كمومية للثقالة (غير المفهومة بعد).

وعلى سبيل المقارنة تخيل أن لديك نسختين لعرض سينمائي واحد، إحداهما مخزنة على فيلم بمقاس 70mm والأخرى مخزنة على قرص DVD. إن شكل تخزين العرض يختلف في الحالتين جذريا، حيث إن أحدهما عبارة عن شريط خطي من السليلويد يمثل كل إطار فيه مشهدا من العرض كما نعرفه، فيما الشكل الآخر عبارة عن أسطوانة ثنائية البعد بحلقات من النقاط الممغنطة والتي كانت ستشكّل متتالية من بتّات الصفر 0 والواحد 1 فيما لو استطعنا ملاحظتها.

ومع ذلك فإن كلا الشكلين يصف العرض السينمائي ذاته. وبالمثل فإن النظريتين المختلفتين ظاهريا في المضمون تصفان الكون ذاته. إن القرص DVD يبدو كقرص معدني **بلمعان قوسقزحي** rainbow pattern. وكذلك فإن نظرية الجسيمات الحدية (عند الحدود) تبدو كما لو أنها نظرية للجسيمات بغياب الثقالة. وكما أن الصور

(*) Negatively Curved Spacetime
(**) The Hologram
(1) infinity

تبرز فقط عند المعالجة الصحيحة للبتات في حالة الـDVD، فإن الثقالة الكمومية وبعداً إضافياً آخر يبرزان في نظرية الجسيمات الحدية عند التحليل الصحيح لمعادلاتها.

ما المقصود بتكافؤ النظريتين في الواقع الفعلي؟ أولاً يكون لكل كمية في إحدى النظريتين كمية مقابلة في النظرية الأخرى. وهاتان الكميتان قد تكونان مختلفتين كثيرا من جهة كيفية وصفهما ضمن النظريتين: فكمية ما في النظرية الداخلية قد تصف جسيما واحدا من صنف ما يعيش في الداخل، فيما تقابلها في النظرية الحدية كمية تصف مجموعة من الجسيمات من صنف آخر. وثانيا فإن تنبؤات الكميات المتقابلة ينبغي أن تكون متماثلة. ولذا فإذا كان احتمال تصادم جسمين هو 40% في الداخل فإن احتمال تصادم المجموعتين المقابلتين من الأجسام في النظرية الحدّية سيكون أيضا 40%.

وهنا سنعرض التكافؤ بإيضاح أكثر. إن الجسيمات الموجودة على الحد تتفاعل بطريقة شبيهة جدا بالطريقة التي تتفاعل بها **الكواركات**[1] **والكليونات (الكربونات)** quarks and gluons. وتمتلك الكواركات نوعا من الشحنات يُعرف باسم الألوان. فيما يدعى تفاعل القوة النووية الشديدة باسم **الكروموديناميك الكمومي (التحريك اللوني الكمومي)** quantum chromodynamics. يكمن الاختلاف بين الجسيمات الموجودة على الحد وبين الكواركات والكليونات في أن هذه الجسيمات تمتلك عددا كبيرا من الألوان وليس ثلاثة فحسب.

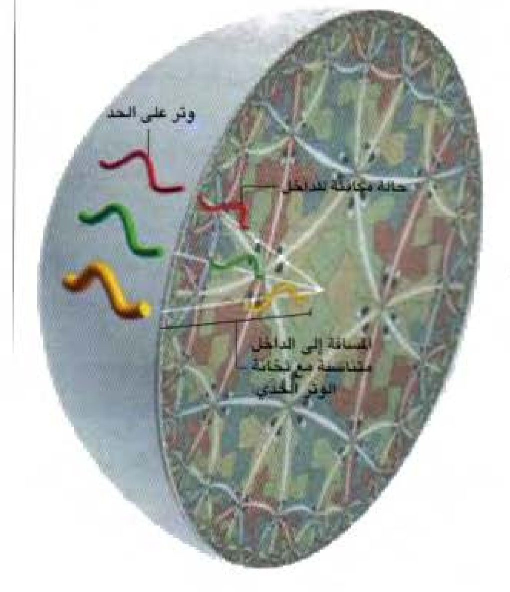
لقد قام «G. تهوفت» [من جامعة أوترخت في هولندا] بدراسة مثل هذه النظريات منذ عام 1974. وتنبأ بأن الكليونات عبارة عن سلاسل تسلك سلوك الأوتار في **نظرية الأوتار** string theory. وقد بقيت الطبيعة الدقيقة لهذه الأوتار غير واضحة حتى عام 1981 عندما لاحظ «A. M. بولياكوف» [الذي يعمل في جامعة برينستون] أن هذه الأوتار تعيش في فضاء بأبعاد أكثر من الفضاء الذي تعيش فيه الكليونات. وكما سنرى بعد قليل، ضمن النظريات الهولوكرافية، فإن هذا الفضاء ذا العدد الأكبر من الأبعاد عبارة عن الفضاء الداخلي لفضاء ضديد دوستر.

وحتى نفهم من أين يأتي البعد الإضافي، دعونا نبدأ باعتبار أحد أوتار الكليونات التي تقع على الحدود. إن لهذا الوتر سمكا، ويرتبط هذا السمك بمقدار انتشار الكليونات المكونة له بالفضاء. وعندما يحسب الفيزيائيون كيف تتفاعل وتتأثر هذه الأوتار الموجودة على حدود فضاء ضديد دوستر مع بعضها، فإنهم يحصلون على نتيجة غريبة جدا وهي أن وترين بسمكين مختلفين لا يتفاعلان معا بشكل كبير. إن هذا يعني أن الأوتار تتصرف كما لو كانت منفصلة عن بعضها مكانيا. ومن ثم فإننا نستطيع النظر إلى سمك الأوتار كما لو كان يمثل بعدا مكانيا جديدا يتجه بعيدا عن الحدود.

وهكذا فإن وترا رقيقا على الحدود يماثل وترا قريبا من الحدود، فيما الوتر

ابتكار بعد(*)

إن النظرية الهولوكرافية تبين كيف يمكن للكواركات والكليونات المتفاعلة بعضها مع بعض والتي تعيش على حدود فضاء ضديد دوستر أن تكون مكافئة لجسيمات تعيش في الفضاء الداخلي ذي الأبعاد الأكثر عددا.



تتفاعل الكواركات والكليونات عند السطح الكروي لفضاء ضديد دوستر لتشكل أوتارا كل منها بسُمْك مختلف. وتفسير هذه الأوتار بموجب النظرية الهولوكرافية هو أنها تمثل في الفضاء الداخلي جسيمات أولية (وهي أيضا عبارة عن أوتار)، حيث يعبّر سمك كل واحد منها عن بعده عن الحد.



ومن ثم فإن غيوما من الكواركات والكليونات عند السطح تمثل أجساما معقدة في الفضاء الداخلي (مثل *التفاحة المبينة في الشكل*). إن ميزة هذه النظرية الهولوكرافية تكمن في أن الأجسام في الفضاء الداخلي تخضع لقوى الثقالة مع أنه لا وجود للثقالة على السطح.

(*) Conjuring A Dimension

(1) الكواركات هي مكونات البروتونات والنيوترونات، والكليونات تولد القوة النووية الشديدة التي تربط الكواركات معا. (التحرير)

الشحن يماثل وترا بعيدا عن الحدود (انظر الإطار في الصفحة 73). وهذا البعد الإضافي هو بالضبط البعد ذاته الذي يلزم لوصف الحركة داخل فضاء ضديد دوسيتر الرباعي الأبعاد؛ من منظور مراقب في الزمكان فإن الأوتار الحدية (الواقعة على الحدود) ذوات السمك المختلف تبدو كما لو أنها أوتار (كلّها رقيقة) متموضعة في أمكنة مختلفة في الداخل (بُعْدها عن المركز مختلف). إن عدد الألوان على الحد يحدد حجم الداخل (والذي بدوره يتحدد بنصف قطر **كرة إيشر** Esher-like sphere).

وحتى نحصل على فضاء زمكاني بحجم الكون المرئي فإن على النظرية أن تتضمن 10^{60} لون.

وينتج أيضا (من النظرية) أن أحد أنواع الگليونات يسلك في الزمكان الرباعي الأبعاد كما لو كان **كرافيتونا (جذبونًا)** graviton، وهو الجسيم الكمومي للثقالة. ففي هذا الوصف تكون الثقالة في الفضاء الرباعي الأبعاد ظاهرة منبثقة عن تفاعل الجسيمات في عالم ثلاثي الأبعاد يخلو من الثقالة. إن وجود الگرافيتونات في النظرية لا ينبغي أن يثير الدهشة ـ حيث أدرك الفيزيائيون منذ عام 1974 أن النظريات الوترية دائما ما تقود إلى الثقالة الكمومية. ولا تمثل الأوتار التي تكونها الگليونات شذوذا عن هذا، إلا أن الثقالة تعمل في فضاء ذي أبعاد أكبر.

وبهذا فلا تكون المقاربة الهولوكرافية مجرد إمكانية جديدة قوية لنظرية كمومية للثقالة. بالأحرى، وبشكل أساسي، إنها تربط ما بين نظرية الأوتار (المقاربة الأكثر ألفة لصياغة نظرية كمومية للثقالة) وبين نظريات الكواركات والگليونات (وهي الأركان الرئيسية في فيزياء الجسيمات الأولية). وأكثر من ذلك، يبدو أن النظرية الهولوكرافية تقدِّم الأفكار الخلاَّقة وتضيء الطريق نحو المعادلات الدقيقة لنظرية الأوتار، التي تم ابتكارها في أواخر ستينات القرن الماضي بهدف وصف تفاعلات **القوة النووية الشديدة** strong interactions، مع أنه تم الاستغناء عنها (لهذا الغرض) عند دخول **الكروموديناميكا** chromodynamics هذا الميدان. إن المطابقة بين النظرية الوترية والكروموديناميكا تبين أن هذه الجهود المبكرة لم تكن خاطئة وإنما يعبر كل من الوصفين عن وجه مختلف من العملة ذاتها.

يؤدي تغيير نظرية الكروموديناميكا على الحدود، وذلك بتغيير الكيفية التي تتفاعل بها الجسيمات الحدية، إلى تنوع في النظريات الداخلية (التي تصف داخل الفضاء). ومن الممكن للنظرية الداخلية أن تتضمن فقط قوى ثقالة، أو قوى الثقالة إضافة إلى قوى أخرى مثل القوة الكهرمغنطيسية، وهكذا. ولكن لسوء الحظ فنحن، حتى الآن، لا نعرف أية نظرية حدية ينتج منها نظرية داخلية تتضمن بالضبط القوى الأربع المعروفة في هذا الكون.

لقد ارتأيت وخمَّنتُ أولا أنه من الممكن لهذه المقاربة الهولوكرافية أن تكون مناسبة لنظرية خاصة (كروموديناميكا مبسطة في فضاء حدي للزمكان الرباعي الأبعاد) وذلك في عام 1997. وسرعان ما أثارت هذه الرؤية اهتماما عظيما في وسط المهتمين بالنظرية الوترية. وقد تمت صياغة هذا التخمين وهذه الرؤية بصورة أكثر دقة من قبل <پولياكوف> و<S.S. جوبسر> و <R.I. كليبانوف> [من جامعة برينستون] و <E. ويتن> [من معهد الدراسات المتقدمة في برينستون بولاية نيوجيرسي]. ومنذ ذلك الحين أسهم العديد من الباحثين في استكشاف هذه الرؤية وتعميمها لتشمل أبعادا أخرى ولتشمل أيضا نظريات كروموديناميكية أخرى، مما يضيف أدلة بارزة على صحتها، ومع ذلك لم تتم البرهنة الصارمة على أي مثال لكون الرياضيات اللازمة في منتهى التعقيد.

ألغاز الثقوب السوداء[**]

كيف سيسهم الوصف الهولوكرافي للثقالة في تفسير اعتبارات تتعلق بالثقوب السوداء؟ من المتوقع للثقوب السوداء أن تُصدر **إشعاع هوكنك** Hawking radiation، المسمى كذلك نسبة إلى مكتشفه <S. هوكنك> [من جامعة كمبردج]. وينبعث هذا الإشعاع من الثقب الأسود عند درجة حرارة معينة. وهناك نظرية تدعى الميكانيك الإحصائي تفسر درجة الحرارة بدلالة المكونات المجهرية لجميع النظم الفيزيائية المعتادة. وهذه

فهم الثقوب السوداء[*]

لقد حيرت الفكرة التي جاء بها <S. هوكنك> الفيزيائيين وتنص هذه الفكرة على أن للثقوب السوداء درجة حرارة وأنها تصدر إشعاعا أيضا. ذلك أن درجة الحرارة عبارة عن خاصية لمجموعة من الجسيمات، ولكن ما هي المجموعة التي تكوّن الثقوب السوداء؟ تقدم النظرية الهولوكرافية إجابة لهذا اللغز ببيان أن الثقب الأسود يكافئ تجمعا من الجسيمات المتفاعلة فيما بينها على السطح الحدي للزمكان.

ثقب أسود
سطح الزمكان
جسيمات

(*) Understanding Black Holes
(**) Mysteries of Black Holes

النظرية تفسر درجة حرارة زجاجة من الماء، كما تفسر درجة حرارة الشمس. وماذا بشأن درجة حرارة الثقب الأسود؟ حتى نتمكن من فهم ذلك ينبغي أن نعرف ماهية مكونات الثقب الأسود المجهرية وكيفية سلوك هذه المكونات وحدها. النظرية الكمومية للثقالة تستطيع فعل ذلك.

لقد أفرزت بعض اعتبارات ترموديناميك الثقوب السوداء شكوكا حول أيّ إمكانية لتطوير نظرية كمومية للثقالة. فقد بدا كما لو أن الميكانيك الكمومي ذاته تتوقّف صلاحيته عند دراسة التأثيرات التي تحدث في الثقوب السوداء. ولكننا بفضل النظرية الحدية، نعلم حاليا أن الميكانيك الكمومي يبقى صحيحا عند دراسة ثقب أسود في فضاء ضديد دوستر. فمثل هذا الثقب الأسود يقابل تموضعا لجسيمات على حدود هذا الفضاء. وعدد هذه الجسيمات كبير جدا، وهي تتحرك باستمرار، الأمر الذي يمكّن النظريين من تطبيق القواعد المعتادة في الميكانيك الإحصائي لحساب درجة الحرارة. وقد تبين أن النتيجة التي نصل إليها بهذا الأسلوب تتطابق مع تلك التي وصل إليها «هوكنك» باتباع أسلوب آخر، مما يعزز ثقتنا بنتائجنا هذه. والأمر الأهم هو أن النظرية الحدية تنسجم مع الميكانيك الكمومي من دون أن تبرز أية تناقضات.

وقد استخدم الفيزيائيون المقابلة الهولوكرافية أيضا باتجاه معاكس ـ حيث استثمروا معرفتهم ببعض الخصائص المعروفة للثقوب السوداء داخل الزمكان لاستنتاج سلوك الكواركات والكليونات عند درجات حرارة عالية جدا عند الحدود. فمثلا قام «D. صن» [من جامعة واشنطن] وزملاؤه بدراسة كمية تدعى **لزوجة القص** shear viscosity، وهي صغيرة لمائع يسري بسهولة ولكنها كبيرة لمادة لزجة مثل الدبس. وقد وجد هؤلاء أن لزوجة القص هذه للثقوب السوداء صغيرة جدا وأنها أقل من مثيلتها لأي مائع معروف. ونتيجة للتكافؤ الهولوكرافي فإنه ينبغي أن تكون للكواركات والكليونات التي تتفاعل مع بعضها بشدة عند درجات الحرارة المرتفعة لزوجة قليلة جدا!

ومن الممكن التحقق من هذا التنبؤ للنظرية من مصادم الأيونات الثقيلة النسبوية في مختبر بروكهافين الوطني، الذي تتم فيه مصادمة نوى الذهب بعضها ببعض عند الطاقات العالية. وقد بينت النتائج الأولية لهذه التجارب أن التصادم يولد مائعا ذا لزوجة قليلة جدا. ومع أن «صن» وزملاءه قاموا بدراسة صورة مبسطة للكروموديناميكا، فالذي يبدو أنهم انتهوا إلى خاصية موجودة في العالم الواقعي. فهل يعني ذلك أن مصادم الأيونات الثقيلة النسبية يولد ثقوبا سوداء خماسية الأبعاد؟ في الواقع، من المبكر الإجابة عن هذا السؤال، سواء كانت الإجابة تجريبية أو نظرية. (وحتى لو كان الأمر كذلك، فلا يوجد ما نخشاه من هذه الثقوب السوداء الصغيرة ـ لكونها تتبخر تقريبا فور توليدها، ولكونها أيضا توجد في فضاء خماسي الأبعاد وليس في فضائنا ذي الأبعاد الأربعة.)

ومع ذلك تبقى هناك أسئلة عديدة بخصوص النظريات الهولوكرافية بحاجة إلى إجابات عنها. وعلى وجه الخصوص، هل هناك أي شيء شبيه يحدث في كون شبيه بكوننا، كالذي يحدث في فضاء ضديد دوستر؟ هناك اعتبار جوهري في فضاء ضديد دوستر، وهو أن له حدودا يكون فيها الزمن معرّفا بشكل جيّد، وهذه الحدود وُجدت وستستمر إلى الأبد. أما في كون يتمدد، مثل كوننا، ابتدأ وجوده من الانفجار الأعظم فليس له مثل هذه الحدود ذات السلوك الجيّد. وبالنتيجة فليس واضحا كيف يمكن تعريف نظرية هولوغرافية لكوننا؛ إذ لا يوجد مكان ملائم لوضع الهولوكرام.

ومع ذلك فالدرس المهم الذي نتعلمه من التخمين والرؤية الهولوكرافية هو أنه من الممكن للثقالة الكمومية، التي حيّرت بعض أفضل العقول على سطح الكوكب لعقود عدة، أن تكون سهلة جدا عند معالجتها بدلالة المتغيرات المناسبة. دعونا نأمل في أن نجد وصفا سهلا للانفجار الأعظم في القريب العاجل! ■

حتى الآن لم يُبرهن على أي مثال للمطابقة الهولوكرافية وذلك للصعوبة الفائقة للرياضيات المتعلقة بذلك.

المؤلف

Juan Maldacena

أستاذ في مدرسة العلوم الطبيعية التابعة لمعهد الدراسات المتقدّمة في برنستون بولاية نيوجيرسي. وقبل ذلك كان يعمل في قسم الفيزياء، بجامعة هارڤرد وذلك بين عامي 1997 و 2001. وهو يقوم حاليا بدراسة ظواهر عدّة متعلّقة بفكرة الثنوية duality، التي خمّنها أولا، والموصوفة في هذه المقالة. وقد أُعجب فيزيائيو الأوتار بهذه الفكرة في مؤتمرهم عام 1998، حيث إنهم احتفوا به بأغنية تحمل اسمه (مالداسينا) أدّوها على إيقاع الأغنية المشهورة ماكارينا.

مراجع للاستزادة

Anti-de Sitter Space and Holography. Edward Witten in *Advances in Theoretical and Mathematical Physics*, Vol. 2, pages 253–291; 1998. Available online at **http://arxiv.org/abs/hep-th/9802150**

Gauge Theory Correlators from Non-Critical String Theory. S. Gubser, I. R. Klebanov and A. M. Polyakov in *Applied Physics Letters B*, Vol. 428, pages 105–114; 1998. **http://arxiv.org/abs/hep-th/9802109**

The Theory Formerly Known as Strings. Michael J. Duff in *Scientific American*, Vol. 278, No. 2, pages 54–59; February 1998.

The Elegant Universe. Brian Greene. Reissue edition. W. W. Norton and Company, 2003.

A string theory Web site is at **superstringtheory.com**

Scientific American, November 2005

الاختبار الأقصى للدم(*)

طريقة مكلفة لتحديد احتمالات المخاطر الصحية: تحليل 250 اختبارا دفعة واحدة.

عندما بدأت الدوخة بالتلاشي والغثيان بالزوال تابعت التفكير في مسألة كيف أن مقدار ملعقتي طعام من الدم لا يمكنه أن يُماثل بأية حال حجما عظيما منه فاتنا. الفحص الدوري المنتظم يأخذ طبيبي من دمي عينة ذات حجم يعادل نصف تلك الكمية فقط. وافترضت أنه عليَّ أن أعرف، وبخاصة بعد مرور 12 ساعة من الصيام، أنني قد أصبح عليلا إذا ما انخفض مستوى الگلوكوز في دمي، وأنني سأعتبر نفسي عندئذ متبرعا للدم بشكل مروع وفق ذلك المعيار.

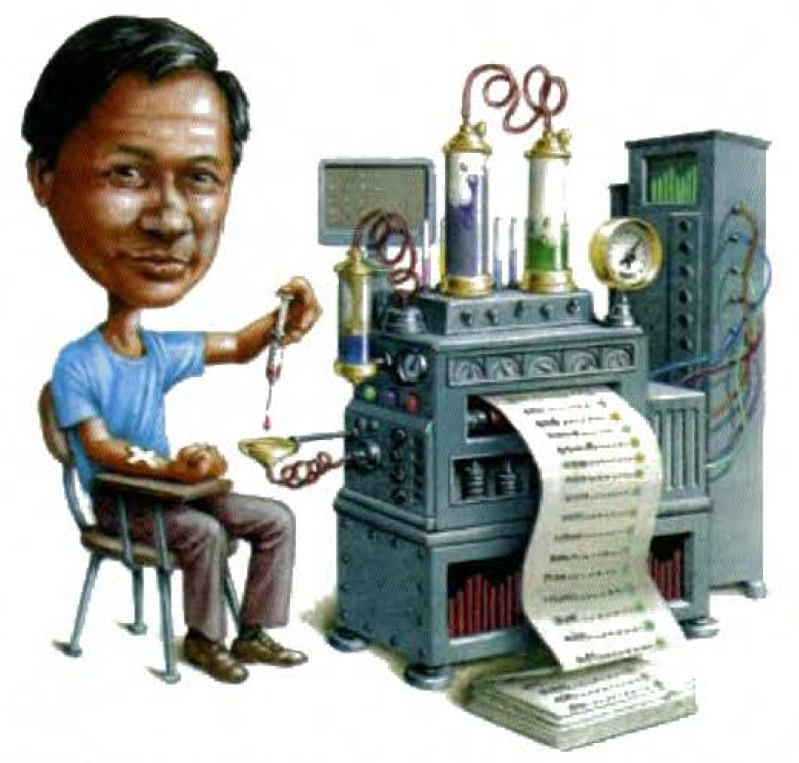
تفرّست الممرضة التي أخذت عينة من دمي في أرجاء مكتبي باحثة عن شراب حلو، ثم سألتني: «هل لديك أي من الصودا أو العصير؟» ولكن لم يكن لدي إلا علبة صغيرة من الشراب الغازي الخالي من السكر. لقد كان الأمر مثيرا للسخرية حقا: فقد اعتدت تناول الشراب الغازي النظامي (المُحلى). ثم تحولت إلى تناول الشراب الخالي من السكر بعد أن أظهرت اختبارات الدم أن مستوى عيار **الگليسيريدات الثلاثية** triglycerides مرتفع جدا عندي.

ولذلك كان الشعور المضطرب أنيا يتعلق بالثمن المادي المقبول لإجراء 250 اختبارا دفعة واحدة، وكنت قد أُخبرت أن إجراء مثل هذه الاختبارات مفردةً، كل اختبار وحده، باستخدام الطرق التقليدية يتطلب لترا كاملا من الدم. فتخيَّل ما سيحل بي من شعور بالدوار والاعتلال والغثيان فيما لو تم ذلك. وكم مرة يجب عليَّ فك كم قميصي لأخذ هذه العينات إلى شركة بيوفزيكال Biophysical؟ لقد وعدتْ الشركة [ومقرها في أوستن، عاصمة ولاية تكساس] باستخدام الدم للتحري عن **السرطانات قبل ظهور أعراضها** presymtomatic cancers **والاضطرابات المناعية المحتملة** potential immune disorders والعدوى الكامنة **واضطرابات التوازن الهرموني غير المكتشفة** undetected hormonal imbalances **وحالات العوز الغذائي غير المميَّزة** unrecognized nutritionl deficiencies.

ويبدو أن المراد من ذلك وسم وترسيخ خطوة متقدمة نحو رحلة **النجوم الخيالية** Star Trek التي بدا الدكتور <ماكوي> يلمح إليها حول أداة **تشبه المملّحة** saltshaker device يمكنها تحديد الأسرار الطبية للشخص المفحوص («ضربات القلب جميعها مضطربة، قياس حرارة الجسم هي كذا يا <جيم>، إن هذا الرجل لديه كذا وكذا بلغة الكلنگون Klingon!»).

إن تقييم نتائج اختبار **البيوفزيكال Biophysical250** حسب ما تسميه الشركة، يتطلب أكثر من مجرد هذه المجموعة من الاختبارات: فهو يحتاج إلى مقابلة المريض لتحري تاريخه الطبي، مع زيارة خاصة إلى منزله أو مكتبه لأخذ عينة من دمه (كان علي أن أبقى أو أصل إلى بيتي، حيث أحتفظ فعليا بالسكر)، ومتابعة المشاورة الطبية. وإن جميع هذه المتطلبات من الرعاية لن تكون رخيصة، فهي تكلف ثلاثة آلاف وأربعمئة دولار أمريكي، وهي ليست مشمولة بالضمان الصحي. لقد بينت الشركة أن إجراء كل فحص بمفرده سيكلف المراجع أكثر من تكلفته الحالية بعشرة أضعاف، وهكذا فإن اختبار البيوفزيكال 250 يصبح رخيصا جدا مقارنة بالتحاليل التقليدية؛ ومع ذلك فستبقى بحاجة إلى دخل متاح لتدفع تكلفتها، أو الالتجاء إلى رب (أو أرباب) عملك ليدفع عنك تكاليف هذه الاختبارات. وبالنسبة إلي فإنني لم أقع في أي من هاتين الفئتين: لأنني كنت

(*) THE ULTIMATE BLOOD TEST



حمس قنينات (حُبابات)، تعادل ملعقتي طعام، هي كل ما يلزم للحصول على نتائج اختبار البيوفزيكال 250

من الذين يقومون بتقويم منتجات شركة بيوفزيكال. وقد وافقت هذه الشركة على إجراء الفحص لي مجانا.

يركز التحليل على الواسمات البيولوجية للدم، وهي مواد كيميائية قد يدل وجودها أو مقدارها على حدوث سيرورات أو تفاعلات شاذة في الجسم. ومن أكثرها شهرة تلك المتعلقة بالأوعية القلبية وهي: البروتين الشحمي المرتفع الكثافة (HDL) والبروتين الشحمي المنخفض الكثافة (LDL) (ويمثلان الكولسترول الجيد والكولسترول السيئ) والگليسيريدات الثلاثية.

وقد يبدو تحري مئتين وخمسين **واسما بيولوجيا** biomarkers دفعة واحدة ضربا من الإسراف وأكثر من اللازم: إذ يتم الفحص الروتيني بتحري نحو **دزينتين** dozens أو ثلاث من هذه الواسمات. وعلى أية حال فإن النظر في تحليل واسم بيولوجي واحد بشكل منفصل لا يعطي في العادة معلومات غنية ذات دلالة خاصة. فمثلا: إن نسبة البروتين الشحمي LDL إلى البروتين الشحمي HDL أكثر أهمية من قيمة كل منهما وحده. وإن اختبار البيوفزيكال 250 يذهب أبعد من ذلك: فلتقييم احتمال خطورة الإصابة بمرض القلب والحادث الوعائي الدماغي (**السكتة** stroke)، تحلل الشركة ثلاثة وثلاثين واسما بيولوجيا. وإن تحري وفحص واسمات بيولوجية متعددة سوية يُحسِّن من احتمال كشف المشكلات مبكرا، وبخاصة **الأمراض الخبيثة** malignancies.

ولاتزال الاختبارات الدموية الخاصة بكشف السرطانات تمثل مسألة إشكالية، لأن أشخاصا أصحاء قد يُنتجون أنماطا ومقادير من الواسمات البيولوجية كالتي ينتجها المصابون بالسرطانات. والأكثر من ذلك أن هذه المواد الكيميائية قد لا تظهر دائما في تحاليل مرضى السرطان، كما أنها قد تظهر في حالات ليس لها علاقة بالسرطان. ويتحرى اختبار البيوفزيكال 250 قرابة أربع دزينات من المواد الكيميائية في الدم المرتبط وجودها بالنشاط السرطاني عموما. وذلك بغية زيادة احتمال كشف المرض في مرحلة كمونه وقبل ظهور أعراضه.

وكمثال، في **سرطان المبيض** ovarian cancer الذي يُشخص متأخرا جدا في العادة، تشير شركة بيوفزيكال إلى أن **المستضد السرطاني 125** cancer antigen 125 وهو الواسم الأكثر شيوعا في المعايرة لكشف هذا السرطان، يظهر لدى نصف عدد المصابين به **في المرحلة الأولى فقط، عندما يكون نجاح** المعالجة أكثر احتمالا. ولذلك يحاول اختبار البيوفزيكال 250 تعزيز فرصة الكشف المبكر من خلال معايرة مركبات بيولوجية مستقلة أخرى، مثل **عامل النمو البطاني الوعائي** vascular endothelial growth factor **والإنترلوكين 6** interleukin 6 **والبروتين الجاذب الكيميائي للخلية الوحيدة** monocyte chemoattractant protein. «إن مجرد قيامنا بتكديس العديد من الواسمات البيولوجية يعني فعلا أننا نقلل من حدوث نتائج إيجابية موهمة (زائفة)». هكذا قال «M. شاندلر»، المدير التنفيذي ومؤسس شركة بيوفزيكال.

لقد صممت الشركة بشكل أساسي اختبارات الدم المعيارية بحيث تكون ذات حجم صغير، فاستغنوا عن الآبار الميكروية الحجم (وتقاس **بالميكرولتر** microliter) واستبدلوا بها خرزات من مادة **البوليستيرين** polystyrene beads الأصغر حجما منها؛ إذ يبلغ حجم كل خرزة ما يعادل نصف حجم الكرية الحمراء. ويغلف سطح كل كرة خرزية بأحد الأضداد النوعية الخاصة. ويمزج مصل العينة الدموية مع الخرزات ما بين 15 و 30 دقيقة، بحيث يسمح **للأضداد** antibodies بأن تتثبت على البروتينات التي تتعرّفها وتميزها. وبعد أن يشطف المصل بالغَسْل، يتم ادخال أضداد أخرى من طاقم المجموعة ذاتها في التحليل. ومع ذلك وفي أثناء هذا الوقت يكون لكل ضد **قائف (عَلَام) متألق** fluorescent tag يكشفه. وتقوم الأضداد ذات القائف بالتثبت على بروتينات الدم المثبتة سابقا بالمجموعة الأولى من الأضداد كالشطيرة. وهكذا يقدم فحص القوائف المتألقة «فكرة عن كمية المادة الكيميائية التي تم سحبها من المصل.» هكذا يشرح «شاندلر» الذي بدأ بتسويق اختبار البيوفزيكال 250 منذ السنة الماضية (2005)، ما يحدث في عمليات الكشف.

لقد وصل تقريري بعد أسبوعين بطريق البريد السريع. وقد تضمّن ملخصا مكتوبا بدقة عالية، إضافة إلى تقرير مختبري كمي، مع كتيّب ثان يحدد جميع الواسمات البيولوجية والعلل المتعلقة بها. وبلغة الصحة فإن القسم الأكثر فائدة هو الملخص المتعلق بالواسمات البيولوجية المنظمة بحسب نمطها: المناعي الذاتي، السرطاني، القلبي الوعائي، **توسيم الخلية** cell signaling، السكري، **الصماوي** endocrine، الدمويات، المناعة/الالتهاب، الأمراض العدوانية، التغذوية، أجهزة الأعضاء، **والفُصال العظمي** osteoarthritic. ويوجد بجانب كل واسم بيولوجي كود لوني يعتمد على ما إذا كان المقدار المُكتشف خارج المجال الطبيعي: فيدل اللون الأخضر على أن «**احتمال الخطر منخفض**» low risk، ويدل اللون الأصفر على وجود «**محذور**» caution ويدل اللون الأحمر على وجود «**إنذار بالخطر**» alert.

ولقد وصل التقرير مع نسخة منه لإعطائها إلى طبيبي الشخصي، وتقوم شركة بيوفزيكال بمناقشة النتائج مع الطبيب المراجع. ومؤخرا وردتني أيضا مكالمة هاتفية استشارية من رئيس الشركة «G. روجرز»، وطبيب الشركة المختص بالقلب والأوعية حول نتائج اختبارات الدم الخاصة بي.

لقد كانت نتائج اختباراتي الدموية طبيعية غير مقلقة، إذ جاء معظم هذه الاختبارات باللون الأخضر. وقد كانت المفاجأة الوحيدة هي الزيادة الطفيفة في المجال الطبيعي لمقدار **الفرِّتين** ferritin، وهو البروتين الذي يختزن الحديد. وقد حذرني التقرير بأن فرط حمل الحديد هذا يمكن أن يكون دلالة على وجود حالة وراثية تدعى **داء ترسب الأصبغة الدموية** hemochromatosis. ويتطور هذا المرض بصمت ويمكن أن يسبب مستويات سُمية من الحديد، بحيث يترسب في الأعضاء. أما المعالجة فهي بسيطة وتكون بالتبرع بالدم على نحو منتظم للتخلص من فائض الحديد. ومن جهة أخرى، يمكن أن يعكس مستوى الفرتين عندي حقيقة أنني كنت فيما مضى أتناول دواء **متعدد الفيتامينات** multivitamin مع الحديد، واكتشفت لاحقا أن ذلك ليس صحيا بتاتا بالنسبة إلى الأشخاص الأصحاء، وهذا مما سأبحثه مع طبيبي.

وفي هذا الموضع لا بد من الإشارة إلى أكذوبة بأن هناك قوة عظيمة لاختبار البيوفزيكال 250 من حيث أنه يستطيع الكشف عن الأمراض المميتة قبل أن تظهر أعراضها، وعادة لا يطلب الأطباء إجراء فحص لها. لقد أبلغت الشركة في إحدى الدراسات غير المنشورة التي أجريت على 120 مراجعا، وجود **اختطارات صحية** health risks رئيسية لدى 15 منهم، ووجود اختطارات معتدلة لدى 27 آخرين منهم، ولم

التتمة في الصفحة 79 (العمود 3)

عروض ومراجعات كتب

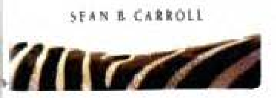
إيفوديفو (علم الأجنة التطوري) هو المصطلح الحديث المعبِّر عن...[*]

... أبحاث عمرها مئتا عام للربط بين الأجنة والتطور

THE NEW SCIENCE OF EVO DEVO

ENDLESS FORMS MOST BEAUTIFUL

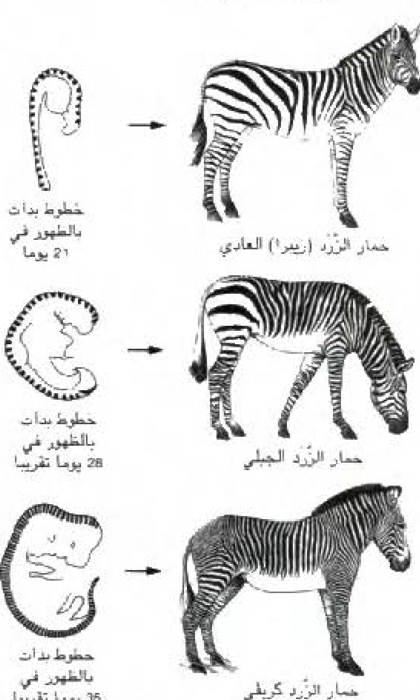
SEAN B. CARROLL



Endless Forms Most Beautiful: the New Science of Evo Devo And The Making of The Animal Kingdom
by Sean B. Carroll
W. W. Norton, 2005

عدد لانهائي من أشكال بالغة الجمال: العلم الجديد إيفوديفو وبناء عالم الحيوان.

سوف يكون من الصعب تخيل مقياسي زمن إضافيين مختلفين في حياة الكائنات الحية غير **التنامي** development - أي تحول جنين إلى فرد يافع في جيل واحد. والتطور - أي تحور الكائنات وتغيرها بين الأجيال التي تعود إلى 600 مليون عام مضت؛ ومع ذلك تساءل فلاسفة الطبيعة وعلماء الشكل الظاهري والبيولوجيون خلال القرنين الماضيين: هل هناك علاقة جوهرية بين التنامي (**تاريخ حياة الكائن الفرد** ontogeny) والتطور (**تاريخ تطور النوع** phylogeny) نعم توجد علاقة، وقد وجدت التعبير عنها في هذا الفرع المزدهر من المعرفة: بيولوجيا التنامي التطورية «إيفو ديفو»، كما أطلق عليه منذ بواكير التسعينات.



قد تنتج الأعداد المختلفة للخطوط في ثلاثة أنواع من حمار الزّرد zebra عن الاختلافات في الوقت الذي يبدأ فيه تكوين الخطوط في الجنين.

ويبحث كتاب «*عدد لانهائي من الأشكال البالغة الجمال*»، واحدا من أكثر الأوجه إثارة في علم الأجنة التطوري (إيفو ديفو)، وهو دمج البيولوجيا الجزيئية التي أدت إلى اكتشاف طوائف من **الجينات المنظِّمة** regulatory (نمائية أو **محوِّلة** switching) المحفوظة: جينات هوميوبوكس homeobox أو هوكس Hox. ولقد صاغ «كارول» [أستاذ الوراثة في جامعة وسكنسون - ماديسون] الكتاب بأسلوب مفعم بالحيوية، متبِّلا إياه بأمثلة غاية في السحر وموضحة توضيحا جميلا برسوم وصور فوتوغرافية عادية وملونة. ولكي ندرك المكان الذي يحتله هذا الكتاب الحديث للإيفوديفو على التاريخ الطويل لهذا الفرع من المعرفة، نحتاج إلى العودة إلى الوراء مئتي عام تقريبا.

ولقد ازدهرت دراسة المراحل الجنينية عبر عالم الحيوان - أي علم الأجنة المقارن - منذ عام 1830. ومن ثم، عندما ظهر كتاب «*أصل الأنواع*» عام 1859، كان «تشارلز داروين» يعرف أن أجنة جميع اللافقاريات (الديدان وقنافذ البحر وجراد البحر) والفقاريات (الأسماك والثعابين والطيور والثدييات) تتشارك في مراحل جنينية شديدة التشابه بما يعني أنها حُفظت على هذه الصورة خلال التطور، حتى إنه يمكن إطلاق الأسماء نفسها على مراحل متكافئة في كائنات مختلفة. ولقد عرف «داروين» أيضا أن التكوين الجنيني الباكر يُبنى على أساس طبقات متماثلة من الخلايا وأنماط متشابهة من تحرُّك الخلايا تُنتج أشكال الأجنة وأجهزتها العضوية. لقد أحاط بهذه الوحدة من التنامي الجنيني. وفي الواقع، يمكننا أن نقول إن إيفوديفو (الذي كان يعرف حينذاك باسم علم الأجنة التطوري) قد بزغ عندما استنتج «داروين» أن دراسة الأجنة ستزودنا بأفضل دليل للتطور.

وقد أعطيت بصيرة «داروين» أساسا نظريا، واكتسب إيفوديفو أولى نظرياته، عندما اقترح «إرنست هيكل» أنه مادام الفرد يستعيد خلال **تاريخ حياته** ontogeny (**التنامي** development) **تاريخه التطوري** phylogeny، إذًا يمكن دراسة التطور في الأجنة. وهذه التقدمات التقانية في عمل القطاعات النسيجية وصبغها التي تزامنت في ستينيات وسبعينيات القرن التاسع عشر، مكَّنت البيولوجيين من مقارنة أجنة الكائنات المختلفة. وعلى الرغم من أن نظرية «هيكل» غير صحيحة في شكلها الصارم، فقد أغرت معظم علماء الشكل الظاهري على ترك دراسة الكائنات اليافعة إلى دراسة الأجنة - وحرفيا: البحث عن التطور في الأجنة. حقا إن التاريخ يعيد نفسه: فبعد مئة عام تأسست نظرية عن كيفية تصميم جسم ذبابة الفاكهة واقترنت بتقدمات تقانية أدت إلى الجانب الجزيئي لعلم الأجنة التطوري إيفوديفو الذي قام بتقييمه «كارول» مؤلف الكتاب.

وكما ذكر «كارول» في كتابه (الذي

(*) EVO DEVO IS THE NEW BUZZWORD

اقتُبس عنوانه من السطور الأخيرة من كتاب *أصل الأنواع*). فإن اكتشاف الوراثة المندلية في عام 1900 الذي تلاه سريعا اكتشاف الجينة باعتبارها وحدة الوراثة، قد دق إسفينًا بين التنامي والتطور، إذ أصبحت الجينات من جيل إلى جيل. وهكذا تم فصل علم الأجنة عن التطور، أي **ديفو** devo عن **إيفو** evo. فحتى اكتشاف طبيعة الدنا ودوره في الخمسينيات لم يردهما إلى الاجتماع معا. ومع ذلك بدأ كل هذا بالتغير في أواخر السبعينات حين تسببت ثورات عديدة في الجانبين النظري والتقاني في نقلة فكرية مفاجئة ومثيرة، مثل تلك التي تلت «*أصل الأنواع*» لـ‹داروين›.

فقد أعادت طرق جديدة لتوليد علاقات الأنساب **الفيلوجينية** phylogenetic علم الأجنة المقارن إلى الصدارة، ونحن نستطيع حاليا تقييم اتجاه التغيرات التطورية في التنامي. فعندما نجد نوعا من الضفادع قد فقد طور أبي ذنيبة من دورة حياته ـ وهو تغير تطوري في الشكل والوظيفة لافت للنظر ـ نستطيع أن نحدد هل هذا الفقد كان حدثا باكرا أو متأخرا في تطور الضفادع. وقد أشعل كتاب ‹S. J. كولد› ***تاريخ حياة الفرد وتاريخ تطور النوع*** Ontogeny and Phylogeny (1977) جذوة الاهتمام من جديد في علم الأجنة التطوري في القرن التاسع عشر، وبعث فكرة قديمة ـ ***التغاير الزمني*** heterochrony، تغير في توقيت التنامي في نسل ذي صلة بسلف له ـ في شكل يمكن اختباره. ولما بلغته هذه الأوجه من التقدم من الأهمية، رُفع لواؤها ضد الحكمة السائدة عندئذ بأن الكائنات تختلف لأنها تمتلك جينات متفردة لا توجد في كائنات أخرى ـ جينات جراد البحر لجراد البحر وجينات الإنسان للإنسان، وهكذا.

ولقد حوّل اكتشاف جينات هوميوبوكس هذه المقاربة رأسا على عقب وباطنا لظهر. إن تصميم الجسم في حيوانات جراد البحر والبشر، والذباب والأسماك، والبرنقيلات والفئران، يبدأ باستخدام عائلات الجينات نفسها والتي حفظت عبر عالم الحيوان. ويحتوي النصف الأول من الكتاب على توابع هذا الاكتشاف، الذي يصف فيه ‹كارول› جينات هوميوبوكس على أنها المحوّلات التي تحوي المعلومات الأساسية المطلوبة لتكوين عين ذبابة أو يد إنسان.

ويستكشف النصف الآخر من الكتاب ما يطلق عليه ‹كارول› «صُنع تنوع الحيوان،» بدءا من حياة الحيوان كما مُثّلت في الأحافير (المستحاثات) الشهيرة بحق، التي وجدت في **طَفْلة برجس** Bargess Shale بكولومبيا البريطانية، والتي يصل عمرها إلى 500 مليون سنة. وقد عُني ‹كارول› بتلاعب التطور بالمحوّلات الوراثية وإنتاج الأنماط في الطبيعة ـ بقع على أجنحة الفراشة وخطوط على حمار الزَّرَد المخطط(1). ولقد أعطى المؤلف اهتماما أقل بشلالات الجينات وشبكاتها التي تسمح لجينات تأشير متشابهة بأن تنشئ مثلا جناح طائر أو ذراع إنسان. وكذلك كان اهتمامه قليلا بالخلايا والعمليات الخلوية التي تكوّن الأشكال اللانهائية.

ومن ثم، فإن تعبيرات مثل «في الواقع إن تشريح أجساد الحيوانات مكود ومشيد بوساطة كوكبات من المحوّلات منتشرة وموزعة في الجينوم كله،» يمكن أن تؤخذ لتعني أن الجينات المحوّلة تحوي جميع المعلومات المطلوبة لتوليد شكل ما. ولو أن هذا كان صحيحا لما كانت هناك حاجة إلى الإيفوديفو، بل الواقع إنه لم يكن هناك تنام على الإطلاق؛ إذ يجب أن يكون الأمر كله جينوإيفو. لكن، كما يوضح ‹كارول›، يحدث تطور الشكل خلال تغيرات في التنامي، ولهذا بالضبط كان لعلم إيفوديفو وضعه المحوري في فهم كيف تتكون الحيوانات وكيف تتطور. ■

(1) zebra

المؤلف

Brian K. Hall

هو أستاذ كرسي ‹G. S. كامبل› للبيولوجيا، وأستاذ جامعي باحث في جامعة دالهاوزي بهاليفاكس. وهو مؤلف كتاب «بيولوجيا التنامي التطورية» Evolutionary Developmental Biology، و«العظام والغضاريف: البيولوجيا التكوينية والتطورية للجهاز الهيكلي» Bones and Cartilage: Developmental and Evolutionary Skeletal Biology *من بين كتب أخرى، ومحرر مشارك لـ‹B. هالجريمسون› لكتاب* «التغاير Variation: A مفهوم أساسي في البيولوجيا» Central Concept in Biology *(تحت الطبع).*

تتمة الصفحة 77 (تقنيات)

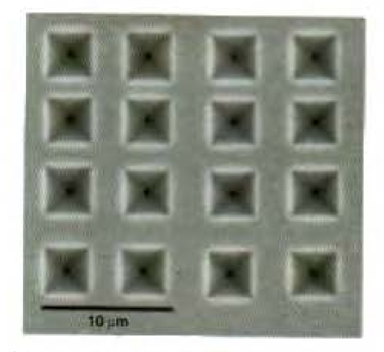
تظهر لدى أي منهم أية علامة أو عرض يدل على وجود أي حالة مرضية. وتتضمن هذه الحالات المرضية التهاب المفاصل الروماتويدي و**تصلب الجلد** scleroderma و**قصور الغدة الدرقية** hypothyroidism.

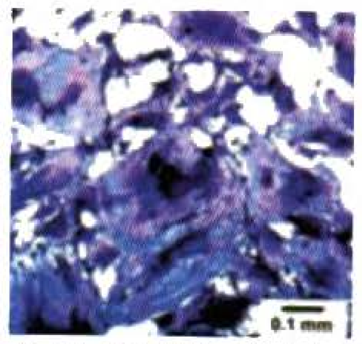
وتتحرى الشركة فقط عن العلل القابلة للمعالجة، في حين تتجنب تلك التي تعد قاتلة بالتأكيد. وهكذا حتى الآن، فإن **حالات التنكس العصبي** neurodegenerative مثل **داء الزهايمر** Alzheimer's disease، ستكون مستثناة. ولكن ‹شاندلر› يضيف بأنه يمكن للشركة أن تجري اختبارات لمثل هذه العلل «فيما لو كانت هناك طريقة تبطئ المرض أو تعيق ترقيه.»

كانت نتائج اختبار البيوفزيكال 250 الخاصة بي محدودة الفائدة، لأنها تعكس حالتي الصحية في 2006/1/10، الساعة 9:30 صباحا، أي عندما أُخذت عينة الدم مني. ولكن التغيرات البيوكيميائية مع مرور الزمن قد تظهر الكثير حول الحالة الصحية للشخص. ولكن بمقارنة التكلفة التي تعادل تكلفة شاشة تلفزيون من نوع البلازما المسطحة العملاقة، فإن اختبار البيوفزيكال 250 ليس ميسورا ماديا تماما حتى لو أجري مرة واحدة كل عامين. أفلا تستطيع الشركة استبعاد بعض الاختبارات؟ أعني هل أحتاج فعلا إلى إثبات أنني لست مصابا بطفيليات داء النوم الإفريقي، علما بأنني لم أزر إفريقيا إطلاقا؟ أو هل أحتاجُ كذكر إلى معرفة أنه لا يوجد عندي حالة حمْل (حَبَل)؟

يقول ‹شاندلر› إن اقتلاع بعض الخرزات لن يكون **ذا مردود** cost-effective، مع أن وجود بعض الدزينات من الواسمات البيولوجية قد يكون كافيا لتحديد أكثر الأمراض شيوعا، ما يسمح بالحصول على التقييم بتكلفة أقل. إنه يرغب بالحصول على بيانات من 10 000 مراجع قبل تقليص عدد الواسمات البيولوجية (إنه يتوقع قرابة 1500 زبون هذا العام). ولكن الشركة قد تتجه اتجاها آخر وتؤسس لاختبار البيوفزيكال 300، حيث ستكشف التحريات بوساطة هذا الاختبار عن واسمات بيولوجية أكثر. وبالتأكيد سأكون مشجعا لهذا الاختبار فيما لو هبطت تكلفته ومادام لا يحتاج إلى عينة دم حجمها أكثر من ملعقتي طعام. ■

‹Ph. يام›





يمكن لصُفيفات سيليكونية (*الصورة العليا*) أن تنكمش لتصبح نانوية الأبعاد، على أمل أن تنمو الخلايا الجذعية في التجاويف. ويبدو أن السيليكون لا يزعج الخلايا الجذعية، فتنتشر بسهولة تامة فوق تلك المادة (*الصورة السفلى*). وقد لونت الخلايا باللون الأرجواني.

حوار الخلايا(*)

مستودعاتٌ نانوية على شيبة تنبئ *الخلايا الجذعية* بما يجب عليها فعله.

يمكن للخلايا الجذعية أن تتحول إلى أي نمط خلوي يأمرها الجسم به. ولكن ما يؤسف له أن العلماء لم يتقنوا بعد اللغة التي يستعملها الجسم في مخاطبته تلك الخلايا. ويأمل باحثون في جامعة ستانفورد أن يحلوا قريبا رموز تلك اللغة في «غرف ثرثرة»(1) بالغة الصغر خاصة بالخلايا الجذعية.

ففي وسطها الطبيعي، تكون الخلايا الجذعية محاطة بضروب من الجيران، تُنقل إليها رسائل كيميائية في نقاط محددة بدقة وفي لحظات خاصة جدا وبكميات محسوبة تماما، كي توجه تناميها لتتمايز إلى نمط خلوي بعينه. وفي المختبرات الحديثة، غالبا ما يغمر الباحثون الخلايا بالكيميائيات فتصبح كمن يَعُبّ من قربة دون حساب، مقارنة بحفل الكوكتيل المعقد والمقنن الذي يقيمه الجسم في الحالة السوية لتوجيه تمايز الخلايا الجذعية.

فمن أجل تعرف المكان الملائم ـ المجهول غالبا ـ والتوقيت وهوية الأدوار، يقوم «A. N. ميلوش» عالم المواد بستانفورد وزملاؤه بإعادة تكوين البيئة الملائمة التي تقيم فيها الخلايا الجذعية في الحالة السوية. فهؤلاء الباحثون يطورون مختبرا مجهريا على شيبة chip سيليكونية، تحيط بالخلية الجذعية وتحوي ما يقرب من 1000 فجوة (مستودع)، قطر كل منها 500 نانومتر. ويحوي كل مستودع نانوي 1 أتولتر attoliter (10^{-18} لتر) تقريبا من سائل مساو لحجم المفرزات الخلوية. وتكون المستودعات محكمة الإغلاق (الختام) بالنمط نفسه من الليپيدات الثنائية الطبقة التي تتشكل منها الأغشية الخلوية. وتُفتح هذه المسام بوساطة أعشار القلط في هذه الطبقات. ويلاحظ «ميلوش»: «عندما يرغب الباحثون في إيصال مادة كيميائية نوعية إلى الخلية في مرحلة محددة من مراحل تناميها، فليس عليهم سوى الضغط على زر معين.» ويعمل الفريق حاليا على تنمية خلايا جذعية مشتقة من نسيج شحمي بالغ(2).

ويضيف «R. ولف» [مدير نقل التِّقانة في معهد كاليفورنيا للتقانة] إنه إلى جانب عوامل النمو، يمكن للعلماء أن يجربوا وسائل بديلة لتوجيه تمايز الخلايا الجذعية. وهو يشير بذلك إلى كظم التعبير الجيني بوساطة **تداخل رناوي**(3) RNA interference.

ويأمل «ميلوش» أيضا أن يُستعمل اختراعهم في إنماء نسج من الخلايا الجذعية: طبقة فطبقة. ويمكن لهذه المقدرة أن تسمح بإنماء نسج مركبة، مثلا عظم على أحد الوجهين وغضروف على الوجه الآخر. ويقرر «ميلوش»: «إذا ما انتُزع الغضروف الآن، عليك أن تلولبه في العظم لإعادته ثانية. ولا توجد حتى الآن أي وسيلة لتكوين السطح الفاصل (البيني) بين العظم والغضروف.» ويمثل الأمل في بناء نسج مركبة، يقوم فيها الغضروف، الذي تم إنماؤه صنعيا، بالارتباط ارتباطا طبيعيا بالجسم.

ومما يقلق أن الكيميائيات في المستودعات النانوية قد تتفاعل مع الليپيدات. لذا، فإن الباحثين يأملون أن يستبدلوا بالختام الليپيدي(4) ختاما خاملا من الذهب، يمكن إذابته ـ عند الضرورة ـ بوساطة تيار كهربائي. كما أن القلطية المستعملة لفتح الختامات قد تؤثر سلبا في الخلايا الجذعية، بيد أن «ميلوش» يوضح بأنهم قد يجدون حلا لهذه المشكلة بجعل المسام غائرة(5) أكثر، بحيث يصبح الحقل الكهربائي أبعد من الخلايا.

ويتنبأ «ميلوش» أنه يمكن للصناعات الإلكترونية المعيارية أن تُنشئ الأداة، بحيث تصل السوق في غضون خمس إلى ثماني سنوات. ولكنه سيستعملها هو وزملاؤه في تجاربهم قبل ذلك بزمن طويل. ويضيف «ولف»: «يمكنني أن أرى إنتاجا في مستوى بحثي قيد الاستعمال في بداية عام 2006، إذا ما سارت الأمور على النحو المأمول.» ■

«J. R. شواي»، مساهم دائم

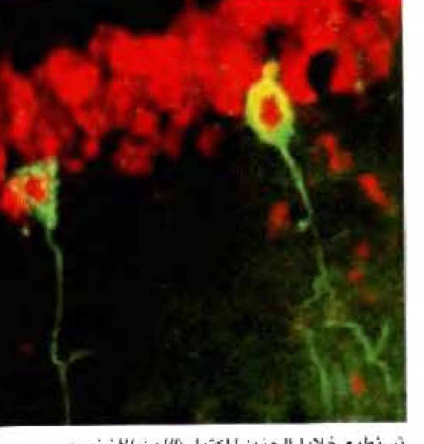
مشكلة الدفع والجذب(**)

يمكن لشيبة ستانفورد التي تخاطب الخلايا الجذعية كيميائيا أن تواجه مشكلة إذا ما عولت هذه الخلايا على مؤشرات أخرى لتناميها الصحيح، مثل فعلي الدفع والجذب الميكانيكيين، أو على بروتينات مثبتة على الأغشية المجاورة. ويقول «A. N. ميلوش» [رئيس فريق الباحثين الذي يطور الشيبة] إن بإمكانه أن يحاكي بسهولة البروتينات المرتبطة بالغشاء بوسم داخل الأداة بالمركبات الملائمة. ولكن الشيبة لا تولد حاليا بصورة جيدة المؤشرات الميكانيكية. ومع ذلك، فإنه ليس من الواضح حاجة جميع الخلايا الجذعية أو معظمها إلى هذه المؤشرات. ويقول «ميلوش» إن الأداة قد تساعد على الإجابة عن هذا السؤال.

(*) CHATTING UP CELLS
(**) Problem of Push and Pull
(1) chat rooms
(2) adult fat
(3) أو رنا اعتراضي
(4) lipid seal
(5) recessing

من الجنين إلى دماغ أمه(*)

دالات علاجية من خلايا الجنين المكتمل تدخل دماغ الأم.



تستطيع خلايا الجنين المكتمل (*اللون الأخضر*) أن تشق طريقها إلى دماغ الأم. وتصطبغ النوى العصبونية في هذه الصورة *باللون الأحمر*.

يرسخ الولدان في عقول أمهاتهم على الدوام بكل معنى الكلمة. ففي الفئران عثر الباحثون على خلايا من الأجنة المكتملة تستطيع أن تهاجر إلى داخل دماغ الأم وتتطور فيه على ما يبدو إلى خلايا من الجهاز العصبي.

ويأتي هذا الاكتشاف من <G. S. داوي> [في جامعة سنغافورا الوطنية] و<Zh. شينگ كسياو> [من مستشفى سنغافورا العام] وزملاء لهما في الصين واليابان. فلقد كان هؤلاء الباحثون يسعون إلى تصميم علاجات للسكتة ولأمراض مثل داء ألزايمر، إذ عرف العلماء لسنوات عديدة أن خلايا الجنين المكتمل لدى البشر تستطيع الدخول إلى دم الأم، حيث تتمكن من البقاء ما لا يقل عن 27 سنة بعد الولادة. وعلى غرار الخلايا الجذعية، تستطيع خلايا الجنين المكتمل هذه أن تصبح أنواعا أخرى عديدة من الخلايا، ويمكن من الناحية النظرية أن تفيد في إصلاح الأعضاء المتضررة.

لقد ربّى بيولوجيو الأعصاب إناث فئران عادية مع فئران ذكور تم تحويرها **للتعبير** express بانتظام عن بروتين متألق أخضر اللون؛ فوجدوا خلايا جنين مكتمل خضراء في أدمغة الأمهات. ويقول <كسياو> في هذا الصدد: «هناك في بعض مناطق أدمغة الأمهات خلايا ذات منشأ جنيني مكتمل يراوح عددها ما بين خلية و 10 في كل 1000 خلية دماغية.»

لقد تحولت خلايا الجنين المكتمل هذه إلى ما يشبه العصبونات والخلايا النجمية الدبقية (التي تفيد في تغذية العصبونات) و**الخلايا الدبقية القليلة التغصنات** oligodendrocytes (التي تفيد في عزل العصبونات) و**البلاعم** macrophages (التي تفيد في هضم الميكروبات والخلايا التالفة). إضافة إلى ذلك، وجد العلماء، بعد أن أحدثوا أذية كيميائية في أدمغة فأرية، زيادة في أعداد خلايا الجنين المكتمل التي تشق طريقها إلى المناطق المتضررة من الدماغ تعادل ستة أضعاف أعدادها في المناطق الأخرى، ما يوحي بأن هذه الخلايا قد شقت طريقها إلى هناك استجابة لإشارات **كرب** distress جزيئية أطلقها الدماغ.

ولكننا لا نعرف كيف تجتاز خلايا الجنين المكتمل جدران الشعيرات الدموية التي تفصل الدماغ عن بقية جهاز الدم، علما بأن خلايا هذه الشعيرات الوعائية ذات تراص كثيف يحول دون عبور معظم المركبات للحاجز الدماغي الدموي المحيط بالنسيج العصبي الدماغي. ويستشف الباحثون أن **الجزيئات الحيوية** biomolecules، مثل البروتينات والسكريات التي تزين سطوح خلايا الجنين المكتمل تتفاعل مع ذلك الحاجز الدماغي الدموي، بحيث تسمح لهذه الخلايا بالتسلل عبره. ويشعر فريق الباحثين هذا بشكل واثق، بأن خلايا الجنين المكتمل تستطيع أيضا أن تمر إلى أدمغة الذكور والإناث غير الحوامل من دون وجود أدلة على فروق رئيسية بين الحاجز الدماغي الدموي لدى هؤلاء، ولدى الإناث الحوامل، حسب قول <ديوي>. ويأمل العلماء أن يبينوا لاحقا أن خلايا الجنين المكتمل تصبح عصبونات وظيفية.

إن الاكتشاف الذي نشر في **أون لاين** online في الشهر 2005/8 بوساطة دورية ***الخلايا الجذعية*** *Stem Cells* يعطي أملا واعدا في معالجة الاضطرابات الدماغية. وبسبب الحاجز الدماغي الدموي، فإن **المعالجات الاغتراسية** transplant therapies فيما يخص الدماغ عادة ما تستحضر أفكار الحفر في الجمجمة. ولعل تحديد هوية الجزيئات الخاصة بخلايا الجنين المكتمل التي تدخل الدماغ لتغدو فيه خلايا عصبية جهازية قد يفيد في العثور على خلايا مشابهة من مصادر أخرى غير الأجنة المكتملة، مثل **دم الحبل السري** umbilical cord blood. ومثل هذا البحث قد يقودنا إلى طعوم (غرائس) خلوية غير عدوانية من أجل الدماغ لا تتطلب إلا حقنا في الوريد. وينبغي تحري توافق أية خلايا تستخدم في هذه المعالجات مع المريض قدر الإمكان تفاديا لاستثارة الجهاز المناعي لديه. هذا ويبقى من غير المؤكد ما إذا كانت الخلايا المحقونة لغرض الوصول إلى الدماغ قد ينتهي الأمر بها إلى الاغتراس في مكان آخر غير الدماغ. ويقول <ديوي> في هذا الصدد: «ولكننا لا نعرف حتى الآن ما إذا كان مثل هذا الحدث مشكلة في حد ذاته.»

وكذلك ينظر الباحثون اليوم في أمر ما إذا كان مرور خلايا الجنين المكتمل إلى الدماغ يحدث في البشر بنفس سهولة حدوثه في الفئران. إنهم يخططون لدراسة ذلك في النسيج العصبي بعد الموت لدى أمهات للغلمان، حيث ستؤكد علامات الصبغي (Y) هذا التأثير في البشر. وحسبما يستدل <كسياو> سيثير ذلك أيضا قضية «ما إذا كان لهذا الإجراء أية مضاعفات سلوكية أو نفسانية.» ■

المؤلف

Charles Q. Choi

له إسهامات متعددة في مجلة ساينتفيك أمريكان

أثمة حماية للحبلى (للحوامل)؟(**)

طبقا لإحدى النظريات العلمية، فإن خلايا الجنين قد تدور داخل جسم الأم لتحمي صحتها. وفي الحقيقة، ما يدعم هذه النظرية هو قدرة الخلايا الجنينية على الدخول إلى الدماغ استجابة لحدوث تلف فيه. وهي الظاهرة التي أوضحتها إخصائية الوراثة الطبية <D. W. بيانتشي> [من جامعة تفتس]. وهي أيضا أول من اكتشف أن الخلايا الجنينية تستطيع البقاء في الأمهات لعدة عقود. وتوضح <بيانتشي> ذلك قائلة: إن الرضّع ينتابهم قلق شديد إذا توفيت أمهاتهم، وهكذا يُظن أن هناك ميزة تطورية.»

بينما يعارض هذه النظرية إثبات آخر، فقد ربطت بعض الدراسات تطور المرض بالخلايا الجنينية التي غرزت نفسها فوق أنسجة الأم في حالات نادرة. لكن <بيانتشي> تشعر مع ذلك أن هذه الخلايا الجنينية المغروزة لا تسبب المرض ولكنها تستجيب له للمساعدة.

(*) العنوان الأصلي: BABY TO BRAIN
(**) Pregnant Protection?

اسألوا أهل الخبرة

كيف تقتل المضادات الحيوية الخلايا البكتيرية من دون أن تقتل الخلايا البشرية؟(*)

يُجيب عن هذا السؤال <H. مولبي> [الأستاذ في قسم الميكروبيولوجيا والمناعيات في كلية الطب - جامعة ميتشيكان]:

تستطيع المضادات الحيوية (الصادات) أن تستهدف البكتيرات انتقائيا لقتلها والتخلص منها تاركة الخلايا البشرية سالمة من دون أن تتدخل فيها. وذلك وفق طرائق متعددة.

تحتوي معظم جدر الخلايا البكتيرية على جزيء ضخم يدعى **الببتيدوكليكان** peptidoglycan، الذي لا تصنعه الخلايا البشرية ولا تحتاج إليه. فالبنسلين مثلا يمنع خطوة الارتباط التصالبية النهائية أو **نقل الببتيدات** transpeptidation، بين تجمّع الجزيئات الضخمة. ونتيجة لذلك يصبح جدار الخلية هشا فينفجر قاتلا البكتيرة.

تستهدف بعض الأدوية **السبل الاستقلابية (الأيضية) البكتيرية** bacterial metabolic pathways. وتشبه الأدوية **السلفوناميدية** sulfonamide بنيويا حمض البارا أمينو بنزويك، وهو الحمض الضروري لتركيب **حمض الفوليك** folic acid. وإن جميع الخلايا تتطلب حمض الفوليك. وفيما يدخل هذا الڤيتامين بسهولة في الخلايا البشرية، فإنه لا يستطيع أن يدخل في الخلايا البكتيرية، وهكذا تضطر البكتيرات أن تركّب ما تحتاج إليه منه بنفسها. وإن أدوية السلفا تثبط الإنزيم الأساسي في هذه العملية، ومن ثم لن تتمكن البكتيرات من النمو.

وهناك مضاد حيوي آخر يدعى **التتراسكلين**، الذي يتدخل في النمو البكتيري بتوقيفه عملية التركيب البروتيني. وبما أن عملية التركيب البروتيني في الخلايا البكتيرية والبشرية كلها تتم على تراكيب بنيوية تدعى **الريبوسومات** ribosomes فإن التتراسكلين يرتبط بأحد **المقرات** sites على الريبوسوم مانعا **الرنا المفتاحي** key RNA من الارتباط بالمقر ذاته، وهو ما يمنع زيادة طول السلسلة البروتينية ونشكلها؛ أما في الخلايا البشرية فلا يتراكم التتراسكلين بمقدار كاف لمنع التركيب البروتيني.

وبشكل مشابه، يجب أن يحدث **تنسّخ الدنا** DNA replication في الخلايا البكتيرية والبشرية معا. ويمكن لمضادات حيوية مثل **السيپروفلوكساسين** ciprofloxacine أن تستهدف نوعيا إنزيما يدعى **مُلفِّف الدنا** DNA gyrase في البكتيرات، ولكن هذا المضاد الحيوي لا يؤثر في إنزيم ملفِّف الدنا البشري. ■

<M. كانتوتور>، مدينة نيويورك

(*) How do antibiotics kill bacterial cells but not human cells?

كيف تضيء اليراعات ولماذا؟(*)(1)

يُجيب عن هذا السؤال <A .M. برانام> [الأستاذ المشارك بقسم الحشرات والديدان الخيطية في جامعة فلوريدا]:

هناك تفاعل كيميائي داخل اليراعات يمكِّنها من الضياء، وهي عملية تسمى **الضيائية الأحيائية** bioluminescence. ينبعث وهج عندما يتحد أكسجين الخلايا مع الكالسيوم وجزيء ثلاثي فُسْفات الأدينوزين المختزن للطاقة وأصبغ اللوسيفرين بوجود إنزيم اللوسيفراز. وعلى العكس من المصباح الذي تتولد منه كمية كبيرة من الحرارة، فإن اليراعات تولد «ضوءا باردا»، بحيث إذا ارتفعت درجة حرارة العضو المحدث فيها، كما في مصابيح الإضاءة، فإن الحشرة لن تستطيع البقاء وتحمّل التجربة.

يتحكم عضو الإضاءة في بدء وتوقف انبعاث الضوء بإضافة الأكسجين إلى المواد الكيميائية الأخرى المطلوبة لإحداث الضوء. فعندما يكون الأكسجين متوافرا يصدر عضو الإضاءة ضوءا، أما إذا لم يكن متوافرا فإن المنطقة تصبح مظلمة. وتقوم الحشرات، وهي عديمة الرئات، بنقل الأكسجين من خارج جسمها إلى الخلايا الداخلية خلال سلسلة معقدة من الأنابيب الآخذة في الصغر، تعرف بالقُصَيْبات. وتعمل العضلات التي تتحكم في انسياب الأكسجين إلى خارج القصيبات ببطء نسبيا. ولذلك فإن وميض اليراعات بهذه السرعة ظل لغزا محيرا.

بيد أن الباحثين وجدوا حديثا أن أكسيد النيتريك يؤدي دورا حاسما، فالميتوكوندرات (الأجسام السُّبَحيّة) داخل الخلايا تحتفظ بأي أكسجين متوافر تستخدمه العُضَيّات في توليد الطاقة للخلية. ولحث الميتوكوندرات على إطلاق بعض الأكسجين فإن دماغ اليراعات يرسل إشارات لإنتاج أكسيد النيتريك الذي يحل محل الأكسجين في الميتوكوندرات، وبذلك يصبح الأكسجين الذي ينتقل إلى عضو الإضاءة حرا لكي يستخدم في التفاعل الكيميائي الذي ينتج الضوء. ولكن لأن أكسيد النيتريك يتحلل سريعا فإن الأكسجين يحتبس مرة أخرى في الميتوكوندرات وينتهي إحداث الضوء.

وتضيء اليراعات لأسباب مختلفة، فهي تنتج استيرويدات دفاعية في أجسامها تجعلها غير سائغة للمفترسات، وتستخدم إضاءتها الفاجئة كإعلان تحذيري من طعمها البغيض. وتومض الأطوار اليافعة لكثير من اليراعات بأنماط فريدة لأنواعها تسمح بتمييز أفراد الجنس الآخر. وقد أظهرت دراسات عديدة أن الإناث تختار أزواجها اعتمادا على أساس نمط ضيائي مميز للذكور. وقد تبين أن معدلات الإضاءة الأسرع والأقوى هي الأكثر جاذبية للإناث في نوعين مختلفين من أنواع اليراعات. ■

<G. رايس>، العاصمة واشنطن

(*) How and why do fire flies light up?

(1) اليراعة جمعها يراع، ولا بأس من جمعها على يراعات للوضوح. وهي تعرف أيضا باسم الحُباحِب. والترجمة الحرفية لاسم هذه الحشرات الدارج بالإنكليزية «الذباب الناري» تدل على أنه اسم مضلِّل، فهذه الحشرات ليست «ذبابا» على الإطلاق، وإنما هي من الحشرات الغمدية الأجنحة، التي تضم أيضا الخنافس والسوس. (التحرير)